

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Omítky v historických stavbách
The plasters in historic buildings

Student:

Petr Rezek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Daňková, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Rezek**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: Omítky v historických stavbách
The plasters in historic buildings

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Stavební vývoj, charakteristika a specifika omítkových systémů v historických budovách.
3. Experimentální část - IN SITU průzkum a hodnocení omítek v konkrétním historickém objektu.
4. Vyhodnocení průzkumů a návrh sanace.
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


Škabrada J.: Konstrukce historických staveb. Argo 2007.
Witzany J. a kol.: PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce. ČVUT 2010
Wasserbauer R.: Biologické znehodnocení staveb. ABF Praha 2000
Míchoinová D.: Příprava vápenných malt v péči o stavební památky. ČKAIT Praha 2006
Hošek J.: Historické omítky. Průzkumy, sanace, typologie. Grada 2007
Fridrichová M. a kol.: Stavíme omítky. ERA Brno 2004
Kotlík P. a kol.: Stavební materiály historických objektů - materiály, koroze, sanace. VŠCHT Praha 1999.
Normy a technické specifikace materiálů dle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Daňková**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012


Ing. Martin Vavro, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Darja Kubečková Skulinová, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě

Poděkování

Rád bych poděkoval své vedoucí práce Ing. Janě Daňkové, Ph.D. za vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů Ústavu geoniky AV ČR za ochotu a pomoc při zpracování vzorků omítek. Poděkování patří také správci areálu kláštera premonstrátů s kostelem Narození P. Marie v Želivě za umožnění odběru vzorků.

Anotace

Omítka v každé historické etapě zobrazovala technickou a kulturní vyspělost civilizace a podílela se na vytváření charakteristických slohových rysů. Mimo architektonickou funkci chrání stavbu před působením negativních vlivů vnějšího prostředí, vytváří-li celistvý plášť s povrchovou úpravou. Většina historických staveb prošla v minulosti procesem různých stavebních úprav a obnov. Z tohoto hlediska je možné odhalit vrstvy, které byly těmito úpravami překryty, sahající i do vzdálených historických etap. Nejjednodušším příkladem z hlediska datování historické omítky je např. zjištění přítomnosti cementu. Také znalost tradičních řemeslných postupů a technologií s použitím vhodných soudobých materiálů může pomoci zabránit nevratnému poškození památky. V této práci je uveden stavební vývoj a charakteristika materiálů používaných při výrobě omítek v historických budovách. Praktická část popisuje zahájení průzkumů historických omítek kláštera premonstrátů s kostelem Narození P. Marie v Želivě.

Annotation

A plaster showed at each historical stage a technical and cultural advancement of civilization and contributed to the creation of distinctive stylistic features. Apart from architectural feature, if the plaster was created by compact surface with surface treatment, the plaster also protects building from a negative impact of an external environment. Most of the historic buildings has been rebuild and reconstruct. Because of this, it is possible to detect layers from far historic periods, which have been covered by this adjustments. The simplest example of the date of historic plaster is for instance a detection of cement's presence. Knowledge of traditional craft methods, technologies and use of contemporary materials also could protect monuments from non-refundable damages. This thesis presents the construction development and characteristics of building materials which are used in the production of plaster on historical buildings. A practical part describes the initiation of surveys of historic plaster Premonstratensian monastery with the Church of the Nativity of the Virgin Mary in Želiv.

Obsah bakalářské práce:

| | |
|---|----|
| 1. ÚVOD | 8 |
| 2. STAVEBNÍ VÝVOJ A CHARAKTERISTIK A HISTORICKÝCH OMÍTEK | 9 |
| 2.1 Pojiva | 13 |
| 2.1.1. Hlína, hliněné malty a omítky | 14 |
| 2.1.2. Sádra, sádrové malty a omítky | 15 |
| 2.1.3. Vzdušné vápno, vápenné malty a omítky | 17 |
| 2.1.4. Malty a omítky z hydraulického vápna | 21 |
| 2.1.5. Cement, cementové malty a omítky | 22 |
| 2.2 Plniva | 24 |
| 2.3 Přídavky a přísady | 25 |
| 2.3.1. Anorganické přídavky | 25 |
| 2.3.2. Organické přísady | 27 |
| 3. PORUCHY A DEGRADACE HISTORICKÝCH OMÍTEK | 28 |
| 4. PRŮZKUM OMÍTEK KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ | 34 |
| 4.1 Lokalita | 34 |
| 4.2 Stručná historie kláštera premonstrátů v Želivě | 34 |
| 4.3 Odběr vzorků a identifikace | 35 |
| 4.4 Příprava vzorků pro rozbor zrnitosti plniva, nerozpustný zbytek | 38 |
| 4.5 Rozbor zrnitosti plniva | 40 |
| 5. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZY A JEJÍ INTERPRETACE | 45 |
| 6. NÁVRH SANACE OMÍTEK ZKOUMANÝCH OBJEKTŮ | 48 |
| 7. ZÁVĚR | 50 |
| 8. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ | 51 |
| 9. SEZNAM OBRÁZKŮ | 52 |
| 10. SEZNAM TABULEK | 53 |
| 11. SEZNAM GRAFŮ | 54 |
| 12. SEZNAM PŘÍLOH | 55 |
| 13. PŘÍLOHY | 56 |

1. ÚVOD

Omítka je plošná povrchová úprava svislých a vodorovných konstrukcí, která vznikla omítnutím konstrukce maltou. Malta je stavební materiál, při kterém smícháním pojiva s plnivem, přísadami a vodou vzniká kašovitý materiál, který se používá ke spojování různých stavebních prvků, k ochraně a k zušlechťování povrchu stavebního díla. Malty dělíme podle účelu použití na malty zdící, omítkové, spárovací, štukové, apod.

Při průzkumech památek obecně pracujeme s celou škálou informací. Tyto informace shromažďují výsledky celé řady průzkumů (statický, stavebně technický, geologický, hydrogeologický, fyzikálně chemický, kunsthistorický, restaurátorský, či jiný). Soubor těchto informací je potom podkladem pro zpracování projektu opravy, rekonstrukce, renovace, apod.

Součástí těchto průzkumů je i analýza historických omítek, kterým se věnuje tato práce. Obvykle je při péči o historické omítky žádoucí dosáhnout sjednocení doplňku s originálem. Z tohoto důvodu je potřeba materiálového a technologického průzkumu omítek. Materiálový průzkum by měl stanovit typ pojiva, orientační poměr pojiva a kameniva omítkové malty, také typ a zrnitost použitého kameniva. Důležité je také danou omítku technologicky popsat. Technologický popis zahrnuje poznatky o typu zkoumané malty (omítková, zdící, malta plastické výzdoby apod.), o postupu nanášení původní omítky (jednovrstvá nebo vícevrstvá omítka), o typu další úpravy omítkové malty a omítky (např. obsahuje-li nátěr). Tyto údaje nejlépe stanoví makroskopický popis daného odebraného vzorku. Na základě výsledků těchto průzkumů se připraví z vhodných dostupných materiálů maltová směs, která je aplikována na zdivo. Soustředěním všech získaných dat a komplexní komparací výsledků lze určit jednotlivé fáze stavby a možnost omítky i datovat.

Teoretická část obsahuje kapitoly o vývoji historických omítek, stavebním vývoji používaných materiálů a častým degradacím, které se u historických omítek objevují. V praktické části je popsán průzkum omítek v částech některých stěn budovy opatství a rajského dvoru objektu konventu kláštera premonstrátů v Želivě. Zejména popis odběru jednotlivých vzorků, příprava vzorků, jejich makroskopický popis a rozbor zrnitosti plniva.

2. STAVEBNÍ VÝVOJ A CHARAKTERISTIK A HISTORICKÝCH OMÍTEK

Historie omítek sahá do dob antické tradice, kde se omítka objevuje u hrázděných konstrukcí a vyplétaných staveb. Nejstarší omítkové vrstvy byly odhaleny ve středovýchodních oblastech anatolského města Catal Hüyük z období 7. Až 6. tisíciletí před Kristem. Mluvíme – li o stavebním vývoji omítek, je dobré připomenout, že právě tento vývoj nebyl vždy přímočarý a také vzestupný. Nelze proto říci, že omítky v 19. století byly dokonalejší než omítky ve 12. století. To mohlo ovlivnit předávání řemesla z generace na generaci, případně lpěním na vyzkoušených technikách a nedůvěře k novinkám [1]. Předmětem této části bakalářské práce je nastínit vývoj omítek na našem území.

Jako první stavby na našem území lze uvažovat stavby z **období Velkomoravské říše**. Pro většinu velkomoravských staveb je charakteristická technika jejich zdění, přičemž se užívalo lomového kamene. Při archeologických průzkumu stavby kostela v Modré u Velehradu byly nalezeny čtyři druhy ložných malt, vnějších a vnitřních omítek. Vnější omítky nesly vrstvu vápenného nátěru tzv. líčka, vnitřní jemnozrnné omítky pak stopy barevných vrstev a také rytí [1]. Mezi další nejstarší velkomoravské stavby u nás se dále také řadí například basilika v Mikulčicích, kostel v Pohansku, nebo kostel v Sadech, jejich specifika jsou uvedena v literatuře [1].

Mezi nejčastější dochované **románské stavby** (11. - 1. třetina 13. století) patřily církevní stavby, několik hradů a v Praze i městské domy. Stavby z tohoto období jsou z kamenného, výhradně řádkového, pokud možno kvadríkového zdiva, s pečlivým tzv. podřezávaným spárováním, jimž se v případě hůře opracovaného materiálu teprve naznačují žádoucí kvadríky, v závěru období a na velkých stavbách se používaly velké kvádry [11]. Zmíněné podřezané spáry najdeme v pečlivém provedení na klášteře sv. Jiří na Pražském hradě již na opukovém zdivu. Dalším způsobem úpravy spáry bylo vyrytí linky do spáry imitující spárořez již na hrubě omítnuté zdivo. Omítky období románského slohu jsou většinou nahazované jednovrstvé, dřevěným nástrojem (prkénkem-„dénkem“) srovnané a uhlazované a měkce sledují povrch zdiva, v případě větších nerovností je pak vyrovnávají [1].

V **gotickém období**, jež můžeme rozdělit na ranou gotiku – 2. polovina 13. století, vrcholnou gotiku – 14. století („krásný sloh“), pozdní gotiku – od poloviny 15. století, převažuje zdivo z lomového kamene kladené výhradně na plocho [11]. U staveb fortifikačních a hradních sídel můžeme sledovat techniku, kdy přebytek malty byl roztírán ze spár, ale tak, aby čela velkých kamenů zůstávala čistá. Při stavbě takových staveb se většinou pospíchalo a hradby nebylo třeba omítat v celé ploše. Tato technika je označována v soudobých pramenech jako „pietra rasa“ [1]. Můžeme ji sledovat například u baziliky v Teplicích, na věži Spišského hradu, ale také u hradu v Dražicích. U gotických staveb se mnohdy používala nahazovaná omítka, její účel byl hlavně v zakrytí nerovnosti lomového zdiva. Takové omítky byly převážně hrubozrné a nanášely se ve velmi silné vrstvě. Řídká omítková kaše pak po nahození stékala po zdivu v nepravidelných kapkách krápníkovitého charakteru nebo o něco hustší a po zdi klesající omítková vrstva vytvářela jakési plastické záclony [1]. Tento typ omítky najdeme například na městském opevnění v Českých Budějovicích.

V **renesančním období**, které probíhalo od přelomu 15. a 16. století do počátku 17. století, existují stavby v celé sociální šíři a více se využívá cihel [11]. Uplatňují se různé úpravy povrchů, zejména sgrafitová výzdoba. Tuto techniku k nám přivezlo vlašští umělci. Zjednodušeně je sgrafito dvouvrstvá omítka s rozdílným kontrastním vybarvením obou vrstev. Spodní část byla probarvována přírodními okry, červeným barvivem získávaným mletím cihel a černí ze zuhelnatělého dřeva nebo slámy. Druhá vrstva byla jemnou vápennou omítkou nebo pouze nátěrem z vyhašeného vápna ve vodě [1]. Tato technika se neustále zdokonalovala. Jednoduchá sgrafita se v podstatě objevovala na všech průčelích měšťanských domů prací obyčejných omítkářů, složitější kresby společně vytvářeli architekti a příslušníci malířského cechu. Uplatňovala se také technika sgrafitové bosáže, její účel byl napodobit kamenné zdivo (obr. 1). Postup při vytváření sgrafita má tři etapy [1]:

- *Nanesení vrstev na podkladní omítku* – jednotlivé vrstvy se nanášejí vždy po zavadnutí předchozí, a to po jemném nástřiku vodou a vyhlazení. Lícni vrstva z řídké vápenné malty (někdy pouze z vápenné kaše) se provádí velmi tenká do 0,5 mm. Spodní barevná omítka má tloušťku 5 – 8 mm.
- *Přenesení obrysu kresby ze šablony* – motiv nakreslený na tuhý papír se po zavlhnutí lícni vrstvy přenáší rydlem na povrch omítky.

- *Škrábání kresby do vrstvené omítky šrafováním a rytím až na podkladovou omítku – doba, po kterou je lící vrstva zpracovatelná záleží na jejím složení, především na kvalitě uleželého vápna, teplotě a vlhkosti prostředí. Pohybuje se mezi 6 – 12 hodinami od počátku její přípravy. Škrábe se šikmými vrypy, aby přebytečná voda nestékala po stěně a nezadržovala se v ryskách, nevymývala vápenné pojivo a pigment.*



Obr. 1 Detail povrchu sgrafitové bosáže renované omítky Trčkova hradu kláštera premonstrátů v Želivě.

Stavby z **období baroka** (počátek 17. – polovina 18. století) byly stále běžné ze zdiva z lomového kamene, ale u zámožnějších stavebníků se objevují i stavby zcela cihlové [11]. Objevují se nové typy omítek, mezi něž patří plastické štukové, natírané (imitující kámen – tzv. badigeon), omítky napodobující mramor a mramorové inkrustace a omítky imitující skalní povrchy, mořské dno a podobně (tzv. grottové omítky). Grottové omítky byly zdobeny barevnými kameny, mosaikou, mušlemi a plasticky utvářenými bloky lávy či tufu [1]. Omítkám, do kterých se za použití modifikované vápenné malty házely drobné vyprané barevné kamínky, říkáme petrlované omítky. Vyskytují se například na barokní fasádě Sankturinovského domu v Kutné Hoře, nebo na Malé Straně. Jednou z možností povrchové úpravy bylo tzv. vypichování omítky (koncem proutěného koštěte) nebo tzv. pekování (nasekávání kladívkem) pro lepší zakotvení povrchové omítky (obr. 2).



Obr. 2 Detail pekování na fragmentu hlazené omítky opatství kláštera premonstrátů v Želivě.

V **období klasicismu**, který se objevuje od závěru 18. do poloviny 19. století, nastává masová materiálová proměna ke zděným stavbám i na vesnicích [11]. Omítky jsou obvykle dvouvrstvé hladké, zatáčené většinou dřevem nebo plstí. Častým dekorativním prvkem jsou festony na podokenních parapetech, medailony a drobné plastické prvky na římsách, často zhotovené z keramiky nebo i ze dřeva a přetahované omítkou. Tyto prvky můžeme najít například na zámku v Buchlovicích. Střídmé plochy jsou často doplněny ozdobeny reliéfními deskami, někdy i z mramoru a také již z litiny, která byla zlacena [1]. V tomto období se k nám začíná také dovážet Kufsteinské vápno.

Pozdní historismus, který přichází v polovině osmdesátých let 19. století, se projevuje z hlediska omítek v návratu zejména k renesanční architektuře. To lze pozorovat například na práci architekta Antonína Wiehla na tzv. Zeyerově domě v ulici Karoliny Světlé, kde je možno studovat celý aparát neorenesanční výzdoby [1]. Omítky z **období secese** byly ornamentálně zdobené především z rostlinných motivů a také hodně barevné, dekorace fasád [1]. V **období moderny** se začaly používat omítky s různě upravenými plastickými povrchy v podobě vrapů, vlnic, sekanými nebo petrovanými poli nebo velmi reliéfním geometrickým dekorem. Po první světové válce se začaly kaolinové závody v Horní Bříze využívat odpad

při plavení kaolinu k výrobě suchých cementových směsí. Této hmotě se nazývalo „břízolit“, vysoký obsah slídy přispíval k optické životnosti takové omítky [1].

2.1 Pojiva

Pojiva používaná v omítkách jsou nejčastěji anorganické látky, které tvoří s vodou zpracovatelnou směs. Takovým stavebním pojivům říkáme maltoviny. Po zatvrdnutí získávají potřebné mechanické, fyzikálně chemické a chemické vlastnosti a spolu s plnivý, vodou a někdy přísadami a přídavky tvoří malty, používané pro zdění nebo pro omítání.

Maltoviny dělíme podle jejich chování v zatvrdlém stavu vůči vodě na maltoviny vzdušné a hydraulické. Vzdušné maltoviny po smísení s vodou tuhnou a tvrdnou pouze na vzduchu. Jsou - li ve vlhkém nebo vodním uložení, jejich pevnost se snižuje a často dochází k jejich úplnému rozpadu. Mezi vzdušné maltoviny patří jíly, vápno, sádra, hořečnatá maltovina. Hydraulické maltoviny po smísení s vodou a zatuhnutí na vzduchu vytvářejí pevnou strukturu a jsou pak stále na vzduchu, ve vlhkém i vodním prostředí.

V českých zemích bylo nejpoužívanějším pojivem vápenný hydrát (hašené nehydraulické vápno v podobě suchého jemného prášku). Malty obsahující jako jediné pojivo cement, případně s přídavkem vápenného hydrátu, se vyskytují na památkových stavbách až ve 20. století. Jíly a sádra patří nejstarší pojiva. V této kapitole je uveden popis používaných pojiv a jejich způsoby výroby včetně chování v historických maltách. Jestliže je pojivem historické malty sádra, hydraulické vápno nebo cement, je to třeba plně respektovat a pro doplňky dodržovat zásadu materiálové a estetické kompatibility [8].

2.1.1. Hlína, hliněné malty a omítky

Hlína jako stavební materiál sloužila už v pravěké době. Používala se zejména při vyplňování proutěných konstrukcí pravěkých chat a ke spojování lomových kamenů ve zdivu. Hliněná malta se používala při zdění již v předrománském období. Vodou rozdělaná jílovitá zemina se míchala s vápnem vyráběným pálením vápenců z místních lokalit. Vápno bylo páleno z vápenců obsahujících hliněné složky, které po vypálení udílely vápennému pojivu latentní hydraulické vlastnosti [1]. To vedlo k vysokým pevnostem nejstarších ztvrdlých malt na našem území. Ve středověku se používala hlína u lidových objektů jako výplň při stavbě hrázdných konstrukcí. Zdrojem pro výrobu malt byly místní hlíny a písky [1]. Omítky čistě hliněné jsou dochovány ještě dodnes na venkovských stavbách. Jako přísady se používala řada dostupných materiálů. Zejména řezanka, pazdeří, zvířecí chlupy v kombinaci s jemnými písky a vápnem. Tyto materiály zvyšují pevnost po vysušení a vyrovnávají tahová napětí, brání tak tvorbě trhlin. Omítky na bázi jílu byly běžné v první polovině minulého století na stavbách nabíjených, vepřovicových a hrázdných. Mezi nejpoužívanější konstrukční metody patří dusaná hlína do bednění, formované cihly sušené na slunci (např. vepřovice) a lisované hliněné bloky. V současné době mají hlíny ve stavitelství malé uplatnění. Stavby z hlíny, respektive z hlíny a slámy však zažívají svou renesanci. Jsou výhodné jak z ekologického hlediska, tak pro svou energetickou nenáročnost.

Jíly vznikly v přírodě větráním především živců. Jsou to nekovové anorganické materiály, mají vrstevnatou strukturu, ve vodě jsou prakticky nerozpustné, ale bobtnají. Mezi nejčastější minerály obsaženými v hlínách jsou: kaolinit, illit, montmorillonit. Jíly, jejichž hlavní složkou je montmorillonit, jsou z technologického hlediska zdánlivě nejvýhodnější. Nicméně malty vyrobené z těchto jílu mají při cyklickém nasávání vody a následném vysychávání sklon k tvorbě trhlin. Méně zpracovatelné jsou kaolinitické jíly, ale jejich účinnost vzhledem k zapojení do kompozitní struktury ztvrdlé malty je lepší. Tyto jíly jsou u nás nejčastější. Na našem území se nachází řada jílu a bentonitů s vysokým podílem kaolinitické složky (Horní Bříza, Podbořany, Sedlc, Karlovy Vary) [1].

Při opravách a rekonstrukcích památkově chráněných hliněných domů se používají omítkové směsi tradiční. V naší zemi je už jenom málo řemeslníků, kteří dokážou takovou maltu

namíchat [12]. Výhodou takovýchto omítek je ekonomické hledisko. Využívaným materiálem mohou být i hliněné cihly z bouraček, které se po rozmíchání s vodou doplní dle potřeby jílem nebo pískem. Negativním vlivem bývá přítomnost organických přísad v hliněném materiálu vepřovic. Plevy nebo řezaná sláma mohou obsahovat plísně a černat vlivem působení dlouhodobé vlhkosti. Vnější tradiční omítky se skládají z hrubého jádra z hliněného materiálu s pískem a plevami, které zvyšují jejich soudržnost. Vrchní omítka je vápenná, aby odolávala účinkům deště a dalších povětrnostních vlivů. V interiérech je žádoucí, aby procento písku bylo minimální, protože písek nemá schopnost přijímat vlhkost ze vzduchu jako jílovitá hlína. Styk hliněných omítek s vodou (kapalnou, dešťovou nebo vzlínající z podzákladí), způsobuje jejich degradaci.

2.1.2. Sádra, sádrové malty a omítky

Sádra je historické pojivo používané již ve starověkém Egyptě. Používali ji Řekové, Římané, a v průběhu středověku i celá Evropa. Její rozmach nastal v 18. a 19. století jako materiál na výrobu zdobných štuků. Širší uplatňování sádry v exteriéru lze zaznamenat až v 19. stoletím jelikož dříve docházelo k jejich rozpadům.

Základní surovinou pro výrobu je přírodní sádrovec. Zdroje sádrovce na našem území jsou malé a značně znečištěné, jediným komerčně využívaným zdrojem je lom u Koberic u Opavy. Sádrovec se zpracovává na sádro tepelným procesem, jehož účelem je odstranění vázané vody a částečný rozklad síranu vápenatého $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Vzniklý produkt se nazývá hemihydrátová sádra $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Existují dvě formy hemihydrátu. Při zahřívání sádrovce na teplotu 115 až 125 °C za mírného přetlaku ($1,3 \cdot 10^5$ Pa), vzniká α -sádra. Krystalová voda se uvolňuje v kapalně podobě a nezpůsobuje poruchu mřížky sádry. Následkem je málo porušená mikrostruktura, která má vliv na malou potřebu záměsové vody a na pevnost zatvrdlé sádry. β -sádra se vyrábí za normálního tlaku ($1,01325 \cdot 10^5$ Pa) tepelným rozkladem při teplotě 100 až 160 °C. U β -sádry dochází k poruchám mřížky, jelikož voda se v plynné fázi uvolňuje z krystalové mřížky.

Podle stupně vypálení, tedy podle obsahu vázané vody se sádra dělí na polohydrát (107 – 130 °C), anhydrit I (130-300 °C), anhydrit II (350-500 °C) a anhydrit III (700-1000 °C). Mletá sádra po smísení s vodou tuhne. Podle doby tuhnutí se sádra dělí na rychle tuhnoucí a pomalu tuhnoucí.

Sádra byla ve středověku pálená kusová původně jako vápno v milířích, později v šachtových pecích, ve kterých byl problém dodržet přesně potřebnou teplotu. Tímto vznikal anhydrit, dokonce i anhydrit II. Při pálení při vyšších teplotách (nad 700 °C) se přišlo na to, že sice vzniká sádra pomalu tuhnoucí, ale také velmi tvrdá (anhydrit III) [6]. Tento typ sádry se používal na lité podlahy pod názvem Estrich. V 18. století s rozvojem stavebnictví a průmyslových technologií byly využívány vařáky sádry. Jednalo se o válcovité plechové kotle s plochým dnem, které se zahřívaly zespodu. Sypal se do nich rozemletý sádrovec, prohrabovaný dřevěnými hrábly. Kontrola spočívala ve sledování množství vodní páry, která odcházela nad komínem. Přestala-li pára odcházet, proces byl okamžitě ukončen.

V minulosti byly používány speciální druhy sádrovin. Tyto sádrové maltoviny se vyznačují vysokou tvrdostí a pevností. Jejich hlavní součástí byl sádrovec tepelně upravovaný s přísadami jiných látek. Mezi nejdůležitější sádroviny patří Keenova sádrovina, Pariánská sádra, Schottova sádra a de Wyldeho sádra.

Pro výrobu malt pro omítání se sádra mísí s pískem. Písek musí být bez hlinitých součástí. Množství písku ovlivňuje citlivost sádrových omítek k vlhkosti okolí. S jeho stoupajícím množstvím sádrové omítky snadněji vysychají a rychleji dosahují rovnovážnou vlhkost. Jako plnivo sloužily i zvířecí chlupy, které se někdy nahrazovaly rostlinnými vlákny. Voda používaná k přípravě sádrových malt musí být zcela čistá. Přidáním nadbytečné vody dochází k vyšší porozitě a nižší pevnosti zatvrdlé sádry. Sádrové a sádrovápenné omítky by neměly přijít do styku s hydraulickými pojivy, v přítomnosti vlhkosti může docházet ke vzniku ettringitu nebo thaumasitu, jež při krystalizaci vytvářejí velké molekuly, způsobující rozpad malt. Sádrové výrobky jsou výhodné z hlediska požární ochrany.

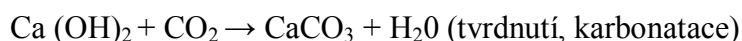
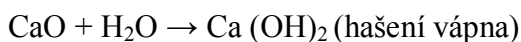
2.1.3. Vzdušné vápno, vápenné malty a omítky

Pod pojmem vápno můžeme ve stavební praxi představit: pálené vápno (žíravé) CaO , suchý vápenný hydrát Ca(OH)_2 , hašené vápno (vápenná kaše) Ca(OH)_2 , karbidové vápno Ca(OH)_2 , hydraulické vápno [9]. Vápno je po hlíně nejstarším známou maltovinou. Slouží jako pojivo k přípravě malty pro zděné konstrukce, k přípravě omítek a štuků pro povrchové úpravy zdiva, dále se používá ve formě suspenze (vápenného mléka) k nátěrům a ve formě vodného roztoku (vápenná voda) ke konzervaci [6]. Z hlediska chemického složení tvoří větší část oxidy a hydroxidy vápenaté (CaO , Ca(OH)_2) a menší část sloučeniny hořčíku (MgO , Mg(OH)_2), křemíku (SiO_2), hliníku (Al_2O_3) a železa (Fe_2O_3).

Vápenná malta nabyla na významu již ve starověku. Zejména římská doba vedla ke zdokonalení jeho používání. Vápno se na našem území začalo nejprve používat u církevních staveb a obytných staveb králů a knížat. První jeho zmínka pochází z roku 999, kdy první vápenku vlastnil Břevnovský klášter. Rozšíření výroby nastalo ve středověku za vlády Karla IV v Praze. Pro dostatek surovin pokračovala expanze na celé území Čech a Moravy.

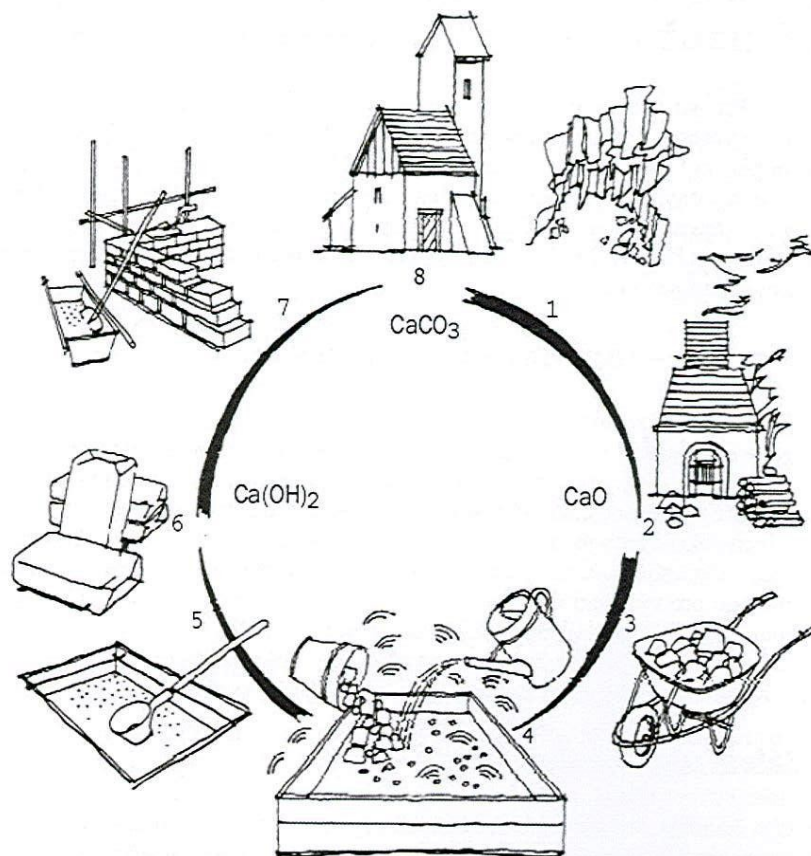
Vápenný cyklus

Vápenný cyklus (obr. 3) lze ve zjednodušení popsat níže uvedenými chemickými rovnicemi [1]:



Vápenný cyklus (obr. 3) začíná získáním uhličitanu vápenatého CaCO_3 . U nás jsou pro výrobu vápna nejčastěji využívány přírodní čisté až vysoce čisté vápence. Čistý vápenec se v přírodě prakticky nevyskytuje. Struktura je tvořena vedle kalcitu a dolomitu i dalšími složkami: oxidy křemíku, hliníku, železa a dalších prvků. Doprovodné složky ve vápenci

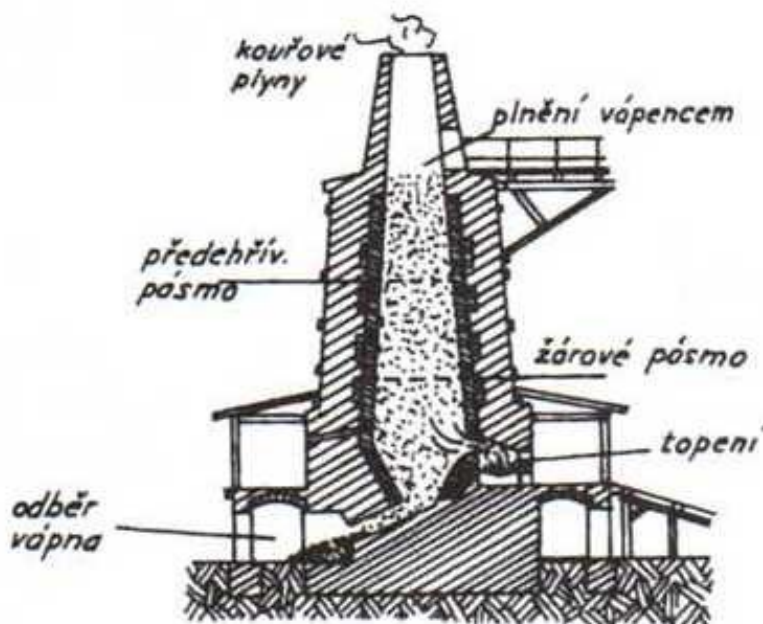
s přísadami jílových minerálů a zbytky dřevěného uhlí, které udílely výpalu hydraulické vlastnosti, byly důsledkem primitivních technologií při pálení vápence [8].



Obr. 3 Různé podoby vápna ve vápenném cyklu. Legenda: 1 – vápencový lom; 2 – pálení vápna; 3 – nehašené vápno; 4 – hašení; 5 – vápenná kaše ve vápenici; 6 – pytlovaný vápenný hydrát; 7 – vápenné malty; 8 – vápno v maltách, omítkách a nátěrech [8].

Pálením (zahříváním čistých vápenců na teplotu kolem 1000 °C) se čistý vápenec mění na nehašené vápno. Při měkkém (pomalém pálení na teplotu těsně kolem 900 °C) vzniká velmi kvalitní, rychle reagující – reaktivní vápno. Dnes se vápno pálí rychleji a při vyšší teplotě než je 900°C. Hovoříme tedy o tvrdém pálení vápna. Překročí-li teplota 1250 °C, může být výsledný produkt méně reaktivní až nereaktivní [8]. Takové vápno se nazývá, přepal. Při nízkých teplotách výpalu nemusí dojít k dokončení reakce v celém objemu kusů páleného vápence. Toto vápno nebo jeho části se nazývá, nedopal.

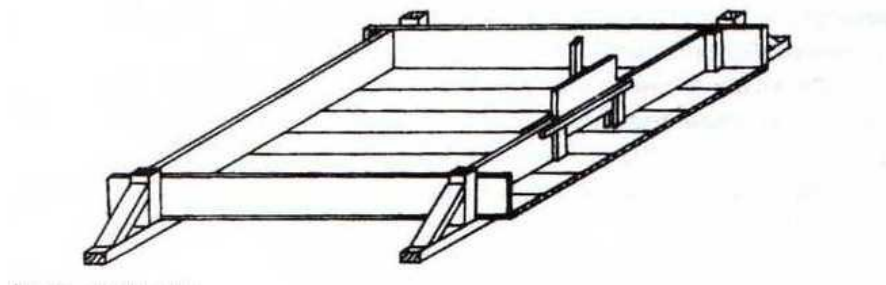
Pálení vápna v daleké minulosti se uskutečňovalo v jamách, jejichž stěny byly obloženy kamenem. Jámy byly přikryty víkem z jílů, vyztužených větvemi. Ve víku byl vytvořen otvor pro odvod kouřových plynů a rozkladného produktu vápence (oxidu uhličitého). Na dně bylo ohniště, okolo něj na vyvýšené plošině byl vápenec, který se rozkládal [3]. Dalším způsobem pálení vápna bylo milířování. Výpal tímto způsobem byl nehomogenní a obsahoval nevypálené shluky vápence. Proces pálení se postupně zdokonaloval a probíhal v pecích kruhových, šachtových (obr. 4) i rotačních, které zaručovaly stejnorodost výpalu [6]. První kruhové pece se začínají objevovat ve 2. polovině 19. století. V kruhových pecích bylo vápno vyráběno ještě počátkem 70. let 20. století. Zlom v technologii výroby vápna přinesl vynález šachtových pecí v polovině 19. století [3].



Obr. 4 Šachtová vápenka starého typu [6].

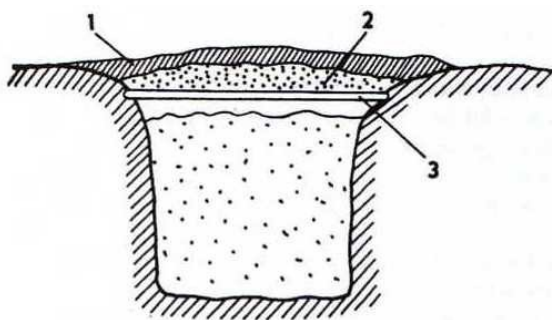
Pro proces přípravu omítkových malt byl důležitý způsob hašení. Z chemického hlediska se jedná o hydrataci. Z hašeného vápna CaO při reakci s vodou vzniká hašené vápno Ca(OH)_2 . Jednotlivé způsoby hašení se podle množství vody nazývají suché hašení (v minimu vody) a mokré hašení (v nadbytku vody). Proces hašení vápna na sucho byl založen na postupném průběžném kropení rozprostřeného nadrceného kusového vápna a opakovaným přehazováním až do stavu, kdy se vytvořila suchá moučka. Toto vápno se po prosetí mohlo použít ke zpracování již druhý den.

Hašení v přebytku vody bylo častěji používaným způsobem. Rovnoměrně rozprostřené vápno v hasidle se přelilo v menším množství vody. Jakmile se kusy vápna začaly rozpadat, přilévala se voda za stálého míchání až do vzniku kaše.



Obr. 5 Klasická vápenná hasnice [6].

V této suspenzní formě se směs vypouštěla do předem připravené jámy. Suspenze se nechala odležet nejméně jeden měsíc za průběžného prosévání nerozložených částíček vápna. Spodní díl v jámě byl vhodný pouze pro přípravu malt ke zdění [8].



Obr. 6 Uložení vyhašeného vápna v jámě (1 - zához, 2 – utěsnění, 3 – prkenné víko) [6].

Vápenný cyklus pokračuje přípravou (smíchání vhodného množství vápna, kameniva a vody) a použitím vápenné malty. Proces končí zpevněním vápenného pojiva. Dochází ke karbonataci, vápno se mění zpátky na uhličitán vápenatý a malta nabývá na pevnosti. Karbonatace probíhá od povrchu do hloubky nanesené malty nebo omítky, což souvisí s přístupem CO_2 ze vzduchu do malty. Díky tomu je vápenná omítka shodného složení pevnější na povrchu než hluboko pod povrchem nebo v jádře. Postup karbonatace je doprovázen poklesem pH [8].

2.1.4. Malty a omítky z hydraulického vápna

Hydraulické vápno po zatuhnutí na vzduchu tvrdne ve vlhku i pod vodou. Vyrábí se pálením vápenců s vyšším obsahem hydraulických součástí (Al_2O_3 , Fe_2O_3 a SiO_2) při teplotě 900-1100 °C. Hydraulické vápno musí obsahovat minimálně 10 % těchto hydraulických složek [13]. Podle poměru oxidu vápenatého k hydraulickým složkám dělíme hydraulická vápna na silně, středně a slabě hydraulická.

Vápenné malty s hydraulickými vlastnostmi dovedli připravovat již staří Římané. Vápenec pálili spolu se sopečnou horninou – **pucolánem** (viz. kap. 2.3). Maltová směs, která obsahovala jemně mletý cihelný střep v poměru k vápennému hydrátu 1 : 1, vykazovala vyšší pevnosti v tahu za ohybu i tlaku ve srovnání s čistě vápennou maltou [4].

Na našem území se vyrábělo vápno z podolských a branických vápenců. Takovéto vápno se nazývalo Staroměstské vápno (tab. 1), neboli „Pasta di Praga“ [1, 9]. Je spojováno se stavbami benátských paláců a přístavních hrází v Amsterdamu a v Londýně [1].

Tab. 1 Chemické složení Staroměstského vápna [1].

| Složka | Nerozpustný zbytek | CaO | MgO | SiO_2 | Al_2O_3 + Fe_2O_3 | Na_2O + K_2O | SO_3 |
|--------------|-----------------------|--------------|--------------|----------------|---|--|---------------|
| Hmotnost v % | 1,24 | 72,83 | 1,88 | 19,38 | 3,38 | 0,90 | 0,38 |

Velmi kvalitní hydraulické vápno se k nám dováželo z Rakouska od 19. století. Jednalo se o **Kufsteinské vápno**, pálené ze slínkových vápenců od Perlmosu a Kufsteinu v Tyrolsku. Obsahuje 55 až 60 % oxidu vápenatého a hořečnatého, 24 až 27 % oxidu křemičitého a 12 až 15 % oxidu železitého a hlinitého. Vysokou kvalitu také určoval postup výroby. Pálení bylo pozvolné až do rozpadnutí kusů vápence, chladnutí bylo řízeno tak, aby docházelo k dokonalému zreagování hydraulických složek s vápennými. Jemně rozemleté Kufsteinské vápno dává silně plastickou kaši nažloutlé až okrové barvy. Z tohoto vápna byla připravována malta pro řady významných staveb v Praze. Sloužilo také jako štukatérská surovina. Omítky

vyrobené z tohoto vápna jsou odolné povětrnosti a zejména srážkové vodě. Kufsteinské vápno je dodnes pro některé památkáře významným pojmem.

Svémi vlastnostmi se hydraulická vápna blíží portlandskému cementu. Rozdíl spočívá ve vyšší koncentraci volného oxidu vápenatého a sloučeniny, která vzniká až za teplot 1350 °C a je příčinou vysokých pevností portlandského cementu.

2.1.5. Cement, cementové malty a omítky

Cement je hydraulické pojivo připravované pálením směsi vápence a hlinitých jílu do slinutí a rozemletím vzniklých slínů na jemnou močku. Hlavní úlohu sehrál zejména při výrobě betonu v podobě portlandských, směsných i hlinitanových cementů. Běžné bylo jeho používání v podobě cementové malty při zdění. Při výrobě omítkových malt sloužil spíše jako druhotné pojivo pro šlechtěné omítky.

Z pohledu historie byla výroba cementu vyvrcholením snah zdokonalovat hydraulické vápno. Éra cementu začíná koncem 18. století v podobě objevu **románského cementu** v J. Parkerem v Anglii [1, 5]. Odtud se románský cement šířil po celé Evropě a také do USA. Od poloviny 19. století začal být nahrazován portlandským cementem a v časech první světové války byl z trhu prakticky vytěsněn. Na území Čech a Moravy se výroba románského cementu objevila teprve v 70. letech 19. století [5].

Hlavní surovinou románského cementu jsou vápence a jílové minerály (15-40 %), jež jsou zdrojem oxidu křemičitého, hlinitého a železitého. Složení suroviny pro přípravu Románského cementu je totožné se surovinou, která se užívá při výrobě Portlandského cementu, rozdíl však spočívá v jejich výpalu [5]. Výpal románských cementů probíhá pod mez slinutí, obvykle v 800-1200 °C. V roce 1905 byl zaveden pro hodnocení možného použití vápenců při výrobě cementů tzv. cementační index. Autorem byl Edwin C. Eckel a odvodil vztah zahrnující oxidy, které se surovině nacházejí [5]:

$$CI = (2,8 \times SiO_2 + 1,1 \times Al_2O_3 + 0,7 \times Fe_2O_3) / (CaO + 1,4 \times MgO)$$

Index pro suroviny vhodných pro výrobu románského cementu se potom nacházel v intervalu 1,0 - 2,0. Cementy uvedené v tab. 4 tomuto kritériu vyhovují. Typ I byl připraven z vápence z lokality Folwark (nedaleko Krakowa) v Polsku, Typ II z rakouského vápence lokality Lillienfeld [5].

Tab. 2 Chemické složení vybraných vápenců, cementační index [5].

| Složení vápenců | SiO_2 [% hm.] | Al_2O_3 [% hm.] | Fe_2O_3 [% hm.] | CaO [% hm.] | MgO [% hm.] | SO_3 [% hm.] | Na_2O + K_2O [% hm.] | CI |
|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------|
| Typ I | 21,4 | 5,3 | 1,8 | 36,6 | 1,1 | 0,5 | 0,2 | 1,75 |
| Typ II | 22,6 | 7,1 | 2,9 | 34,1 | 1,4 | 0,1 | 1,9 | 2,03 |

V dnešní době je nejrozšířenější **portlandský cement**. Portlandský cement je směsí křemičitanů, hlinitanů a hlinitoželezitanů vápenatých, jejich tuhých roztoků a sádrovce, chemické složení (tab. 5) se vyjadřuje obsahem jednoduchých oxidů. Účinnými hydraulickými složkami cementů jsou tedy sloučeniny CaO s SiO_2 , Al_2O_3 , a Fe_2O_3 . Celkový obsah CaO a aktivního SiO_2 musí být v cementu CEM nejméně 50 %. [13].

Tab. 3 Chemické složení portlandského cementu [9].

| Oxid | CaO | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | MgO | Na_2O | K_2O | TiO_2 | P_2O_5 | SO_3 |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|-------|---------|--------|---------|----------|--------|
| [% hm.] | 60-69 | 20-25 | 4-7 | 1-5 | <6 | 0,2-0,1 | 0-0,1 | 0,1-0,5 | 0,1-0,4 | 3-3,5 |

Vlastnosti cementu určuje především mineralogické složení. Výpalem surovinové směsi se získá slínek, který tvoří čtyři základní slínkové minerály (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF). Ve slinovací fázi výpalu dochází při teplotě 1450 °C ke vzniku C_3S . Právě tento minerál je nositelem typických vlastností cementu [10]. Jeho nízké využití při výrobě omítkových malt spočívalo v rychlosti jeho tuhnutí a vysoké ceně. Před zavedením sádrovce jako regulátoru

tuhnutí byl počátek tuhnutí cca 10 minut, tudíž docházelo k tvorbě povrchových trhlin v omítce. Dnešní portlandský cement začíná tuhnout asi hodinu po přidání vody [1].

Ke zlepšení zpracovatelnosti cementových malt se přidává vápenného hydrátu. Po zatvrdnutí mají cementové malty mnohem vyšší pevnost a tvrdost než běžné vápenné malty. Proto při použití cementové malty k opravám vápenných omítek mohou nastat problémy díky rozdílným fyzikálním a mechanickým vlastnostem obou materiálů [4].

2.2 Plniva

Plniva jsou takové materiály, které homogenizací s pojivem a vodou tvoří malty, použitelné pro zdění a omítání. Plnivem historických malt byl většinou **písek**. Běžné stavební písky jsou nejčastěji směsí křemene, živce, slídy, chloritu, limonitu a v nejjemnější frakci jílových minerálů [1]. Kvalita písku se posuzuje podle původu, složení, velikosti částic a množství nečistot. Pro omítkové malty se obvykle používá písek kopaný nebo říční. Kopaný písek obsahuje více hlinitých a jílovitých součástí, zatímco písek říční se obvykle skládá ze zrn oblých, někdy velmi čistých.

Zrnitost písku má být taková, aby prázdný prostor mezi zrny zaujímal co nejmenší objem. Chybí – li písku jemná zrna, je k vyplnění dutin mezi zrny zapotřebí příliš mnoho pojiva, čímž trpí i jeho pevnost. Příliš jemný písek na druhou stranu vyžaduje velké množství vody a tím je ovlivněna technika nanášení malty. Písek rozeznáváme podle zrnitosti na jemný, který má zrno o průměru do 0,5 mm, písek střední se zrny o velikosti 0,5 až 2 mm a písek hrubý se zrny od 2 do 7 mm. Běžné omítkové i zdící malty mají obsahovat převážný podíl písku hrubého, interiérové omítky písek střední a jemný podle konečné povrchové úpravy. Největší velikost zrna kameniva historických malt se pohybuje většinou nad 4 mm. U štukových omítek je běžná velikost zrna do 1 mm [6]. Zrnitost má také význam estetický a pozorovatel vnímá, zda omítka obsahuje hrubší nebo jemnější podíly písku.

Zhoršení trvanlivosti omítky způsobují humusovité součásti, které mohou ulpívat na zrnech písku. Humusem nazýváme část povrchové vrstvy půdy obsahující velké množství zbytků

po rozkladu rostlin a půdních živočichů. Do malt by také neměl přijít písek či štěrk z hornin, které nejsou soudržné a rozpadají se. Na pevnost malty má vliv tvar použitých zrn. Hranatá zrna zvyšují pevnost malty v tahu. Zrna oblá zvyšují její pevnost v tlaku. Problematická z hlediska pevnosti malty jsou zrna jehlicovitá a šupinovitá, u nichž převládá jeden rozměr nad ostatními. Pro omítky je doporučováno kamenivo s nepravidelnými ostrohrannými zrny, která do sebe při aplikaci a úpravě omítkové malty dokonale zapadají a tvoří tak stabilnější strukturu omítkové malty. Při opravách omítek historických staveb je nutno volit takovou skladbu kameniva, aby byl zachován původní vzhled omítky [9].

Jako plnivo historických malt se používal i různý **organický** výztužný materiál ve formě přírodních rostlinných vláken, zvířecích chlupů, slámy, pazdeří. Tyto výztužné materiály zlepšovaly mechanické vlastnosti malt. V dnešní době jsou nahrazovány polypropylenovými vlákny, která jsou stálá v zásaditém prostředí čerstvých maltových směsí.

2.3 Přidavky a přísady

Přidavky a přísady do malt se používají pro zlepšení vlastností čerstvých (např. plasticitu, regulace rychlosti tuhnutí) a zatvrdlých malt (např. pevnosti, odolnost proti povětrnosti, hydrofobitu). Dělí se na anorganické a organické. Anorganické jsou spíše přidavky, přidávají se v množství větším než 5 % hmotnostních na hmotnost pojiva. Organické látky jsou většinou přísady, přidávají se do 5 % hmotnosti pojiva [9].

2.3.1. Anorganické přidavky

V různém časovém období byly do omítek přidávány anorganické látky hydraulického nebo pucolánového charakteru. Hydraulické látky obsahují vápník, jsou schopny po smísení s vodou za jistých okolností tvrdnout. Pucolány vápník neobsahují nebo jen malé množství a k tvrdnutí potřebují přítomnost vápna. Pucolán lze definovat jako křemičitý nebo hlinitokřemičitý materiál, který sám o sobě má malé nebo žádné pojivové vlastnosti, ale pokud je v jemně mleté formě a v přítomnosti vlhkosti, reaguje s hydroxidem vápenatým

při běžných teplotách za tvorby sloučenin s významnými pojivými vlastnostmi. U omítek na našem území jsou při petrografických rozbořech identifikovány drcené či mleté keramické střepy, jemně drcené sklo, různé druhy strusek [9]. Všechny tyto materiály se v přítomnosti vápna chovají jako pucolány a v různé míře jsou schopné vytvářet produkty hydraulického tvrdnutí.

Pucolány začali používat Antičtí Řekové ve směsi s vápnem ke stavbě vodojemů asi v období 700 až 600 let př. n. l. Okolo 150 př. n. l. je začali využívat Římané. Z té doby se dochovaly některé stavby v Itálii, Řecku, Francii, Španělsku a na ostrovech ve Středomoří. V 18. století se stavitelé k pucolánově reagujícím materiálům vracejí.

Z hlediska původu pucolánů rozlišujeme pucolány přírodní a technogenní. Přírodní pucolány jsou původu buď vulkanického (tufy) nebo sedimentárního (tufity, křemelina). Původním pucolánovým materiálem, od něhož dostaly materiály podobného charakteru název, byli vyvřeliny, které se nacházely poblíž sopky Vesuv u města Puzzoli. Mezi dnes používané zdroje patří zejména rýnský tras a tufy v Egejském moři. Technogenní pucolány jsou cíleně připravovány pálením jílových surovin montmorillonitického nebo kaolinitického typu při nízkých teplotách. K tomuto účelu se nejčastěji používá kaolín, který se pálením při teplotě 600 °C převede na tzv. metakaolín. Metakaolín se využívá při restauračních pracích a při doplňování fragmentů narušených středověkých omítek, tak při doplňování uvolněných ploch ke kamennému podkladu injektáží [1]. Pucolánovou aktivitu také vykazují zbytky po spalování přírodních organických látek – popely, které obsahují reaktivní formy oxidu křemičitého a hlinitého. Do omítek se přidával kostní popel, dřevní popel, popely ze spalování obilné slámy nebo výhonků vinné révy. Např. pšeničná sláma obsahuje až 70 % amorfního SiO_2 [12]. Pro celou řadu aplikací se ve stavebnictví nejčastěji používají elektrárenské popílký. Zde jsou však jistá rizika (obsah síranů, úroveň radioaktivity, barva), která omezují použití popílků k výrobě omítky.

2.3.2. Organické přísady

Archivní prameny a analýzy historických materiálů dokazují, že se v minulosti používala celá řada organických přísad. Ve starověku se jednalo např. o arabskou gumu, tragant, živočišný klíh, krev a fíkovou šťávu smíchanou s vaječným bílkem. V Egyptě se jako pojivové přísady používaly vaječný bílek, keratin a kasein. Někdy se do čerstvých omítek přidávaly vláknité rostlinné materiály (celulóza) nebo hrubé zvířecí chlupy a srst (keratin). Dochované středověké prameny dokládají používání býčí krve, kaseinu, vejce, pryskyřice, klíh, lněný olej, včelí vosk, keratin (z kopyt a rohů), lůj (živočišný tuk), pivo, slad a moč [3]. Účinek těchto látek je uveden v tabulce 4. Většina přísad se hlavně používala v době, kterou lze zařadit mezi období Římského vlivu a období experimentů s hydraulickými maltami v 18. století.

Tab. 4 Účinek organických přísad ve vápenných maltách [9].

| <i>Typ přísady</i> | <i>Přírodní látka</i> |
|------------------------------|---|
| Urychlovače | Bílek, volská krev, cukr, sádlo, tvaroh, škrob |
| Zpomalovače | Cukr, ovocné šťávy, lepek, volská krev, bílek, melasa |
| Plastifikátory | Mléko, bílek, tuky, cukr, kalafuna |
| Provzdušňovače | Slad, pivo, moč |
| Těsnící a hydrofobní přísady | Tuky, oleje, vosky, asfalt, cukerné materiály |
| Adheziva | Kalafuna, kasein, klíh, želatina |
| Zpevňovače | Melasa, cukr, tuky, ovocné šťávy. Žitné těsto, lepek, Sražené mléko, bílek, rostlinné gumy, kasein, sýr, krev |

Použití původních přísad je v dnešní době problematické z důvodů nebezpečí biologické koroze omítek, hygienických předpisů a dodržování stejnoměrné kvality. Dnešní přísady, většinou na makromolekulární bázi, jsou většinou účinnější.

3. PORUCHY A DEGRADACE HISTORICKÝCH OMÍTEK

Omítky mohou být porušeny často nejen vlivy prostředí či korozí materiálu vrchní vrstvy, ale jsou projevem jiných primárních poruch objektu (vlhnutí, poruchy stability stavby). Jedním z hlavních faktorů je **stáří** stavby, které se projevuje narušením a odpadáváním omítek [1]. Dochází ke ztrátě soudržnosti pojiva s plnivem, rozpadu struktury a snížení přilnavosti (adheze) k podkladnímu zdivu. K urychlení stárnutí dochází nejčastěji díky kvalitě původních surovin a jejich technologickému zpracování, úrovni provedení omítky, přestavbami a neuváženými úpravami spojenými se změnou funkce stavby. Negativní vliv na stárnutí omítek může mít i povaha – druh stavebního základního materiálu, orientace vzhledem ke světovým stranám, výskyt plísní, řas či jiných biologických infekcí (obr. 7). Velmi negativní vliv má samozřejmě voda, která stéká po povrchu nebo vzlíná ve zdivu (obr. 8).



Obr. 7 Chybějící okapový svod způsobující biologické napadení zdiva a omítky kostela Sv. Petra a Pavla kláštera premonstrátů v Želivě.



Obr. 8 Viditelné rozsáhlé zavlhčení budovy opatství klášteru premonstrátů v Želivě.

Kvalita omítkové malty a její způsob zpracování závisela na stupni vytvrdnutí maltové směsi, druhu a stupni karbonatace pojiva. Shluky nezreagovaného vápna a zbytky vápence vnitřně degradují vápenné omítky. Po nesprávně provedeném postupu hašení anebo po krátkém odležení vápna neproběhne před použitím kompletní dohašení. V důsledku toho může dojít k poškození malty, kterému se říká vystřelování nebo střílení vápna (obr. 11). Zvětšením objemu dodatečně hašeného úlomku vápna v omítce je narušena pevnost omítkové malty a část úlomku vápna se oddělí (vystřelí) i s okolní omítkou. Vznikne plochý defekt, v jehož středu lze najít zbytky vápna [8]. Vliv na degradaci má také porosita, která ovlivňuje pevnostní parametry omítky a závisí na poměru pevných složek a obsahu vody v čerstvé maltové směsi. Dále počáteční tuhnutí určující teplotou a vlhkostní prostředí ovlivňující stupeň vytvrzení kašovité směsi. Další vliv na životnost omítek měl způsob provedení finální povrchové úpravy včetně zvoleného typu omítky.

Dalším faktorem jsou cyklické **změny teploty a vlhkosti** ovzduší v průběhu životnosti stavby, ale také jednorázové změny teploty v zimním nebo letním období, kdy dochází ke vzniku trhlinek i ztrátě adheze lokálních ploch na fasádě [1]. K těmto poruchám dochází

zejména tam, kde málo pevná jádrová omítka nezajišťuje dokonalou přídržnou finální omítkové úpravy, jedná se o stavby nejčastěji ze smíšeného zdiva z kamenů a cihel.

Následek velmi nízkých teplot může dojít i k **zmrznutí omítky**, které bývá provázáno totálním rozpadem struktury ztvrdlé malty vlivem objemového nárůstu v průběhu fázové přeměny vody v led [1]. Rozrušování omítky postupuje od povrchu přímým rozpadem v těch místech, kde tlak vyvozený nárůstem objemu (cca 8%) převyšuje mez pevnosti v tahu omítky. Problematické mohou být vápenné omítky, zejména prováděné před zimním obdobím, u kterých nedošlo k dostatečné přeměně hydroxidu vápenatého na karbonát vápenatý.

Velmi závažnou poruchou jsou **trhliny**. Nejen díky svým negativním degradačním důsledkům. Ovlivňují také nepříznivý vzhled stavby. Nejdříve je potřeba určit, co trhliny signalizují. Často signalizují výskyt jiných poruch konstrukce. Mohou být následkem fyzikálních procesů (teplotní roztažnosti, smršťování), prostupu vodních par omítkou či následkem poruchy stability zdiva, které omítka kryje. Nejvíce nebezpečné jsou v tom, že umožňují transport dešťové vody do zdiva. U větších historických staveb (např. kostely, paláce, hradní zdi) mohou trhliny představovat spáry vytvořené postupně v průběhu existence stavby, např. jejím reagováním na změněné základové poměry nebo mohou být důsledkem teplotní roztažnosti stavby v průběhu roku. Pevná sanace těchto trhlin může mít za následek opětovné prasknutí zdiva a vytvoření jiných trhlin v jiných částech konstrukce [4]. Sanování trhlin ve stěnách či povrchových úpravách bez řešení primární poruchy se může velmi brzy projevit jako zbytečné.

Příčiny dalšího poškození spočívají ve **znečištění prostředí** směsí chemických látek v **ovzduší**. V ovzduší se běžně nachází oxid uhličitý, který se rozpouští ve vodě a vytváří částečně kyselinu uhličitou, částečně zůstává rozpuštěný ve formě oxidu [9]. Obě složky jsou agresivní na pojiva na bázi vzdušného vápna, vápna s pucolány, hydraulického vápna a cementu. Dalšími znečišťujícími složkami v ovzduší jsou oxid siřičitý (SO_2), sulfan (H_2S), malé množství oxidu sirového (SO_3) a oxidy dusíku obecně označované NO_x . Reakcí těchto oxidů s vodou vznikají kyseliny, z nichž nejvýznamnější a nejagresivnější je kyselina dusičná (HNO_3).

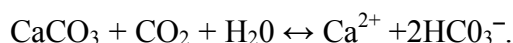
Do omítek mohou být transportovány rovněž agresivní látky z **vlhkého zdiva** nebo z **podzákladí**. Jedná se především o soli, a to **sírany, dusičnany a chloridy**, z kationtů jsou to kationt sodný, vápenatý, hořečnatý a amonný [9]. Zdrojem síranů jsou podzemní vody, případně i cihelné zdivo, pokud byla pro výrobu cihle použita surovina s obsahem síranu vápenatého ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), nebo síranu sodného ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) a síranu hořečnatého ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). K tvorbě dusičnanů dochází vlivem činnosti bakterií, které oxidují amoniakální dusík na dusičnany. Tyto dusičnany se objevují zejména v přízemních částech omítek a v místech styků omítky s vodorovnou plochou, na níž jsou exkrementy zvířat, zejména ptáků. Výluhy se z exkrementů vsakují do omítek, dochází k oxidaci na dusičnany. Dalším zdrojem dusičnanů bývají např. bývalé suché záchody, bývalé stáje, objekty, kde byl skladován střelný prach a v nedávné minulosti dusíkatá hnojiva. Chloridy se u omítek zejména objevují tam, kde se v blízkosti používá chlorid sodný (NaCl) **k zimní údržbě vozovek a chodníků**. Tato sůl se pak ve formě roztoku transportuje do přízemních partií omítek a zdiva, kde se usazuje a po odpaření vody krystalizuje. Vzniklé krystaly vytvářejí krystalizační tlaky na okolí. Je – li tento tlak vyšší než pevnost omítky, dojde k jejímu porušení.

Hliněné omítky jsou odolné proti působení agresivních látek z ovzduší, ale mají extrémně nízkou odolnost proti povětrnosti (mrazu, vodě). Zda bude docházet ke kapilární kondenzaci, bude záviset na tom, do jaké míry jsou zhutněny. Jsou – li vystaveny delší dobu s kapalnou vodou, např. dešťovou nebo povrchovou, dochází k nasávání vody do mezivrstev jílových minerálů a následně k jejich bobtnání. Dlouhodobé zavlhčení a následné vysušení nebo zmrznutí omítky vede jejímu rozpraskání a následně i rozpadu. Pokud jde o vzlínající vlhkost, dochází k částečnému uzavírání pórů vlivem bobtnání jílu a voda proto vzlíná do menší výšky než u normálního zdiva.

Sádrové omítky rovněž snadno degradují při trvalejším styku s vodou. Při kontaktu s vodou nebo párou, která kondenzuje v jemných pórech na kapalinu, dochází k rozpouštění sádrového pojiva. To pak může být transportováno jinak a vytvářet krusty. Sádrové omítky jsou citlivé i vůči zvýšené teplotě. Při teplotě nad $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ se začíná uvolňovat voda, k úplnému rozkladu na půlhydrát $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ dochází až při teplotě nad $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dochází tak k poklesu pevnosti, ale paradoxně uvolněná voda (vodní pára) chrání materiál do jisté míry před účinky požáru.

Vápenné omítky mají nízkou odolnost proti působení kyselých plynů z ovzduší a proti působení kyselin. Následkem rozkladu pojiva je vznik rozpustnějších sloučenin a následné vymývání produktů rozkladu z omítky dešťovou vodou. K rozkladu uhličitanu vápenatého (CaCO_3), který je hlavním produktem tvrdnutí, dochází při reakci:

- S agresivním oxidem uhličitým [8]:



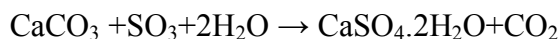
Ner rozpustný CaCO_3 reaguje s vodou a CO_2 za vzniku relativně rozpustného $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, neboli iontů Ca^{2+} a HCO_3^- . Ve vodě tyto rozpuštěné ionty mohou transportovat. Reakce je vratná, jakmile poklesne koncentrace CO_2 ve vodě nebo se voda odpaří, vznikne z iontů opět nerozpustný CaCO_3 . Tímto způsobem dochází i k tvorbě přírodních krasových jevů.

- S oxidem siřičitým za přítomnosti vlhkosti podle rovnice [8]:



CaCO_3 se rozkládá a vzniká siřičitan vápenatý, který následně oxiduje na síran vápenatý podle výše uvedené rovnice. Vzniklý sádrovec má velký molární objem a s dostatečnou vlhkostí může vykrystalizovat do velkých krystalů. Takto vzniklé krystaly vyvolají tlakem na stěny pórů napětí ve hmotě omítky.

- S oxidem sírovým podle rovnice [8]:



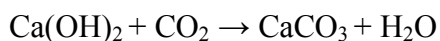
Oxid sírový reaguje s vodou na kyselinu sírovou, ta rozkládá uhličitan vápenatý.

- S oxidy dusíku v přítomnosti vody podle rovnice [8]:



Vzniká dobře rozpustný dusičnan vápenatý, který může být vyplaven dešťovou vodou.

Cementové omítky degradují velmi často karbonatací. Karbonataci způsobuje oxid uhličitý, který reaguje s hydroxidem vápenatým, dochází k neutralizační reakci. Tato reakce probíhá podle rovnice [8]:



Hodnota pH mezizrnného roztoku cementového tmelu klesá neutralizací hydroxidu vápenatého z původní hodnoty 12,5 na hodnotu 8,3 [8]. Karbonataci dochází v cementovém tmelu k řadě dalších složitých reakcí. V konečné fázi karbonatace vzniká uhličitán vápenatý ve formě kalcitu, hydratovanému oxidu křemičitého ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) a hydroxidu hlinitého ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ve formě gipsitu [8]. Výsledný uhličitán vápenatý vzniká nejprve v jemných krystalech, později se rekrystalizuje a dochází ke krystalizačním tlakům na stěny pórů. To se projevuje zhoršením mechanických vlastností cementových malt.

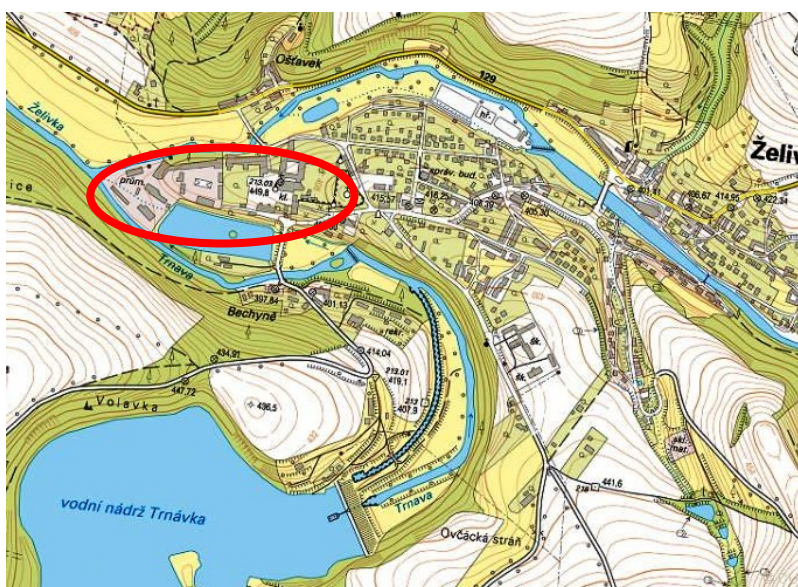
Rychlost karbonatace je závislá na [8]:

- velikosti, tvaru a počtu pórů v cementovém tmelu, tj. na propustnosti,
- koncentraci oxidu uhličitého v okolním vzduchu,
- relativní vlhkosti okolního vzduchu.

4. PRŮZKUM OMÍTEK KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ

4.1 Lokalita

Klášter premonstrátů v Želivě se nachází v kraji Vysočina, poblíž Humpolce (10 km) v obci zvané Želiv. Obec Želiv leží v nadmořské výšce 405 metrů na soutoku řeky Želivky a Trnávky, v blízkosti se také nachází vodní nádrž Trnávka (obr. 9). Za dávných dob zde údajně vedla "zemská stezka" vedoucí z Prahy na Moravu [15].



Obr. 9 Mapa okolí areálu kláštera premonstrátů v Želivě.

4.2 Stručná historie kláštera premonstrátů v Želivě

Klášter premonstrátů v Želivě, který je národní kulturní památkou, prošel za 860 let své historie celou řadou proměn a zvratů. Byl založen v r. 1139 pražským biskupem Otou spolu s českým knížetem Soběslavem a jeho manželkou Adlétou, do něhož uvedli benediktiny

(později benediktiny vystřídali premonstráti) z nedalekého opatství na Sázavě. Kostel i klášter byl vypálen poprvé v roce 1375. Následovala přestavba kostela ve slohu gotickém. Za husitských válek byl klášter dvakrát vyplněn. Z tohoto období pochází částečně dochovaný tzv. Trčkův hrad, pozdně goticko-renesanční panské sídlo. Premonstráty na Želiv vrátil až po 155 letech strahovský opat Kašpar z Questenberka. Později se podařilo zbudovat část nového konventu i vyzdobit kostel malbami a oltáři. Opat Jeroným znovu od základů vystavěl zchátralé opatství i konvikt pro studenty klášterní akademie. V roce 1712 však přišel strašlivý požár, při němž vyhořel konvent i kostel, zřítla se chrámová klenba (původní gotická v presbytáři vydržela). Za pomoci dobrodinců byly největší škody zahlazeny za pouhých osm let. V průběhu 18. století byl klášter dále rozšiřován a zdoben. V novobarokním stylu byly upraveny Prelatura a Opatství. Velkou ranou pro klášter byl další požár, v roce 1907. Zachvátil úřednický dům, kostelní věž, pivovar, Trčkův hrad, opatství, prelaturu a hospodářské kolny. Následně byl obnoven z trosek a za první republiky dobře ekonomicky prosperoval a stal se duchovním i kulturním centrem regionu. Po 2. světové válce byli premonstráti vyhnáni a v klášteře následovně vznikl internační tábor, v roce 1956 připadl psychiatrické léčebně v Havlíčkově brodě. Po roce 1993 se mohli premonstráti vrátit a započali opravy a úpravy kláštera do původního stavu [14].

4.3 Odběr vzorků a identifikace

Cílem práce bylo odebrat vzorek pro analýzu zaměřenou na doplnění již narušených omítek nebo doplnění omítek vlivem následného sanačního zásahu, který by znamenal jejich narušení a plošné otlučení. V případě cenných renesančních, gotických či starších omítek nelze aplikovat tyto sanační metody.

Na stěnách opatství byl obvyklým jevem výskyt vápenných shluků (obr. 11). Shluky v areálu konventu rajskeho dvora přímo degradovaly omítku vystřelováním (obr. 12). Častým problémem byla také vztlínající vlhkost projevující se častým opadáváním omítek od podkladu.



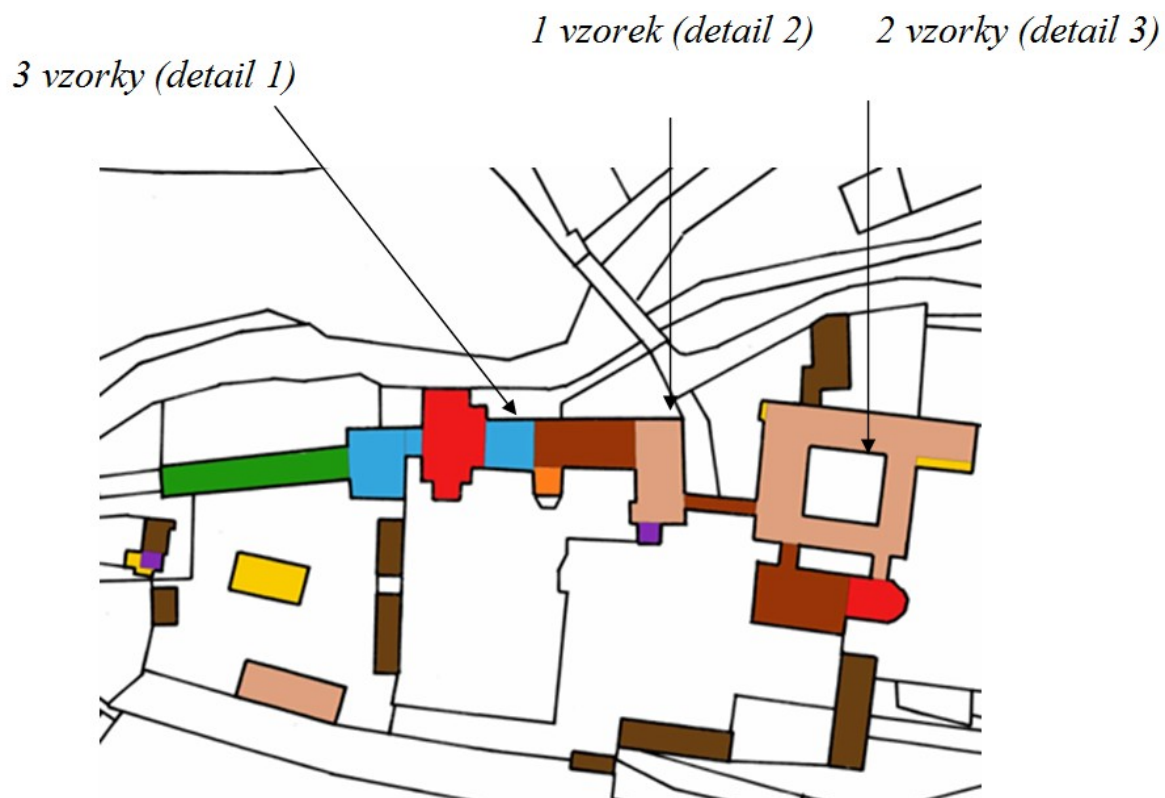
Obr. 10 Výskyt vápenných shluků na severní stěně opatství kláštera premonstrátů v Želivě.



Obr. 11 Poškození omítek a nátěru vlivem vystřelování nevyhaseného vápna v rajském dvoru budovy konventu kláštera premonstrátů v Želivě.

Správný odběr vzorků musí být proveden cíleně, reprodukovatelně a reprezentativně. Nároky na velikost vzorku se liší dle množství informací, které chceme získat. Ve svojí práci jsem odebral dostatečné množství vzorků pro stanovení složení malty (typu pojiva, rozboru zrnitosti, poměru mísení). Odebraný vzorek musí být také dostatečně reprezentativní a vzhledem k nehomogenitě je vhodné odebrat více vzorků stejného materiálu a po provedení analýz statisticky zhodnotit výsledky a případně vyloučit výrazné odchylky od výsledků. Nejprve odběr vzorků probíhal v budově opatství v části severní stěny viditelné před vstupem do areálu, poblíž potoka. Byly odebrány 3 vzorky z části stěny nacházející se blíže Trčkova hradu a 1 vzorek z části stěny poblíž příjezdové cesty do areálu (obr. 12). Vzhledem k rozsáhlosti stěny (cca 70 m) je třeba pro dostatečné zhodnocení odebrat daleko více vzorků.

Jako další místo pro odběr jsem zvolil konvent, jeho obvodové zdivo v rajském dvoře, kde jsem odebral 1 vzorek na severní a 1 vzorek na západní stěně (obr. 12). Detailněji jsou místa odběrů uvedena v přílohách č. 2 – 10. Odběr všech vzorků probíhal za chladného počasí během sněžení.



Obr. 12 Koncepce odběrů vzorků omítek

Na odebraný vzorek musí být připravený obal, lze použít PE sáček opatřený těsnícím uzávěrem. Při odběru je nutné zaznamenat údaje, které mohou napomoci při laboratorním zkoumání. Tabulka s popisem odběrů je uvedena v příloze č. 1.

Vzorky bylo třeba před přípravou makroskopicky popsat. Zaznamenal jsem údaje o jeho barvě tloušťce, vrstevnatosti, nátěru, maximální zrno, popsal makroskopicky jeho části (povrch, tělo, spodní strana). Tento detailní makroskopický popis je uveden v příloze č. 11.

4.4 Příprava vzorků pro rozbor zrnitosti plniva, nerozpustný zbytek

Příprava vzorku probíhala především v odstraňování nátěru, šetrném oddělení kameniva od pojiva v třecí misce (obr. 14), odsítování frakce 0,125 mm a nad 0,125 mm (obr. 15).

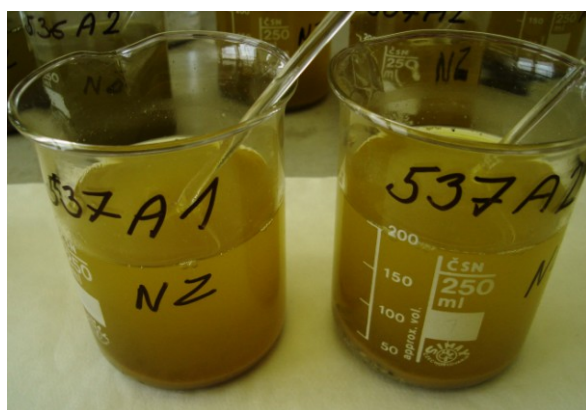


Obr. 13 Šetrné oddělení kameniva od pojiva v misce.



Obr. 14 Odsítování frakcí 0,125 mm a nad 0,125 mm.

Toto rozdělení pojiva od plniva nelze však považovat za definitivní, důležitou fází oddělení plniva od pojiva frakce nad 0,125 mm je rozpuštění v 10% kyselině chlorovodíkové. Z připravených vzorků se odebraly navážky a zaznamenaly se jejich hmotnosti. Zalitím odebrané navážky 10 % HCl (za horka – 80°C) probíhala kyselá reakce.



Obr. 15 Oddělení nerozpustného zbytku v kádince pomocí 10 % HCl.

Po vyšumění (obr. 15) byl vzorek promyt vodou, vysušen a společně s kádinkou zvážen. Podíl hmotnosti (po odečtení hmotnosti kádinky z obou hmotností) po vyvaření a před vyvařením udává množství nerozpustného zbytku (tab. 5).

Tab. 5 Stanovení nerozpustného zbytku

| Číslo vzorku (kádinky) | Hmotnost kádinky (g) | Hmotnost kádinky se vzorkem (g) | Hmotnost kádinky se vzorkem po vyvaření v 10 % HCl (g) | Nerozpustný zbytek (%) |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|
| 13 532 B | 105,54 | 135,62 | 130,27 | 82,21 |
| 13 534 A1 | 86,46 | 118,87 | 108,76 | 68,81 |
| 13 534 A2 | 86,85 | 119,84 | 109,17 | 67,66 |
| 13 534 A3 | 86,61 | 117,79 | 107,63 | 67,42 |
| 13 535 A1 | 86,13 | 119,40 | 113,21 | 81,39 |
| 13 535 A2 | 84,51 | 117,98 | 112,04 | 82,25 |
| 13 536 A1 | 102,34 | 135,85 | 126,99 | 73,56 |
| 13 536 A2 | 102,23 | 135,88 | 126,95 | 73,46 |
| 13 537 A1 | 90,27 | 128,66 | 118,30 | 73,01 |
| 13 537 A2 | 87,01 | 125,59 | 116,60 | 76,63 |
| 13 538 A1 | 88,15 | 125,26 | 113,79 | 69,09 |
| 13 538 A2 | 107,74 | 139,80 | 130,38 | 70,62 |

Výsledné zastoupení a srovnání nerozpustných zbytků v jednotlivých navážkách udává tabulka 6. Nejméně pojiva zřejmě obsahovaly omítky 13 532, 13 535. Nejmenší nerozpustný zbytek obsahoval vzorek omítky 13 534.

Tab. 6 Stanovení nerozpustného zbytku v jednotlivých vzorcích.

| <i>Číslo vzorku (kádinky)</i> | <i>Nerozpustný zbytek (%)</i> |
|--|-------------------------------|
| 13 532 (opatství – renesance) | 82,21 |
| 13 534 (opatství – renesance) | 67,96 |
| 13 535 (opatství – renesance) | 81,82 |
| 13 536 (opatství – rané baroko) | 73,51 |
| 13 537 (konvent – rajský dvůr – nové baroko) | 74,82 |
| 13 538 (konvent – rajský dvůr – nové baroko) | 69,86 |

4.5 Rozbor zrnitosti plniva

Velmi důležitou součástí při hodnocení omítek je rozbor zrnitosti plniva (granulometrická analýza). Při přípravě historických omítek byla kvalitě písku věnována vždy velká pozornost. Jistou úlohu přitom také hrála dostupnost zdroje písku v dané lokalitě. Zrnitostí zjišťujeme hmotnostní zastoupení zrn kameniva podle jejich velikosti. Běžnými metodami je tedy použití normované sady sít, u nichž stačí použít jen ta síta vydělující charakteristické a reprezentativní velikosti. Při rozboru jsem použil tedy síta 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125. Podle ČSN 72 1511 je sada sít tvořena síty se čtvercovými oky 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125 a 0,0063 mm. V literatuře [1] autor vychází ze sady sít 7; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1. V literatuře [9] použil autor síta 5; 2,5; 1; 0,5; 0,25; 0,16. Proces prosévání probíhá mechanicky pomocí normové sady sít (obr. 16).



Obr. 16 Rozbor zrnitosti plniva.

Jednotlivé frakce zachycené na sítích se postupně váží a vypočítává se jejich procentuální podíl z celkové navážky. Pro jemnější písky a zeminy se využívá sedimentačních rozborů. Procentuální zastoupení na jednotlivých sítích jsou vyjádřena v tabulkách 7, 8, 9, 10, 11.

Tab. 7 Zrnitost (vzorek 13 532).

| <i>Velikost síta (mm)</i> | <i>Zbytek na sítu (g)</i> | <i>Zbytek na sítu (%)</i> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 4 | 1,65 | 6,8 |
| 2 | 2,51 | 10,3 |
| 1 | 2,75 | 11,3 |
| 0,5 | 6,7 | 27,5 |
| 0,25 | 8,53 | 35,0 |
| 0,125 | 1,89 | 7,7 |
| podsítné | 0,37 | 1,5 |
| celkem | 24,4 | 100,0 |

Tab. 8 Zrnitost (vzorek 13 534).

| <i>Velikost síta (mm)</i> | <i>Zbytek na sítu (g)</i> | <i>Zbytek na sítu (%)</i> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 4 | 10,3 | 15,7 |
| 2 | 13,5 | 20,7 |
| 1 | 17,1 | 26,2 |
| 0,5 | 15,8 | 24,2 |
| 0,25 | 5,5 | 8,5 |
| 0,125 | 1,8 | 2,8 |
| podsítné | 1,3 | 2,0 |
| celkem | 65,4 | 100,00 |

Tab. 9 Zrnitost (vzorek 13 535).

| <i>Velikost síta (mm)</i> | <i>Zbytek na sítu (g)</i> | <i>Zbytek na sítu (%)</i> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 4 | 4,4 | 8,2 |
| 2 | 5,4 | 10,1 |
| 1 | 6,6 | 12,2 |
| 0,5 | 15,6 | 29,0 |
| 0,25 | 17,4 | 32,3 |
| 0,125 | 3,2 | 5,9 |
| podsítné | 1,3 | 2,3 |
| celkem | 53,9 | 100,0 |

Tab. 10 Zrnitost (vzorek 13 536).

| <i>Velikost síta (mm)</i> | <i>Zbytek na sítu (g)</i> | <i>Zbytek na sítu (%)</i> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 4 | 1,3 | 2,7 |
| 2 | 1,8 | 3,7 |
| 1 | 4,0 | 8,3 |
| 0,5 | 16,1 | 33,4 |
| 0,25 | 20,7 | 42,9 |
| 0,125 | 3,6 | 7,5 |
| podsítné | 0,7 | 1,5 |
| celkem | 48,2 | 100,0 |

Tab. 11 Zrnitost (vzorek 13 537).

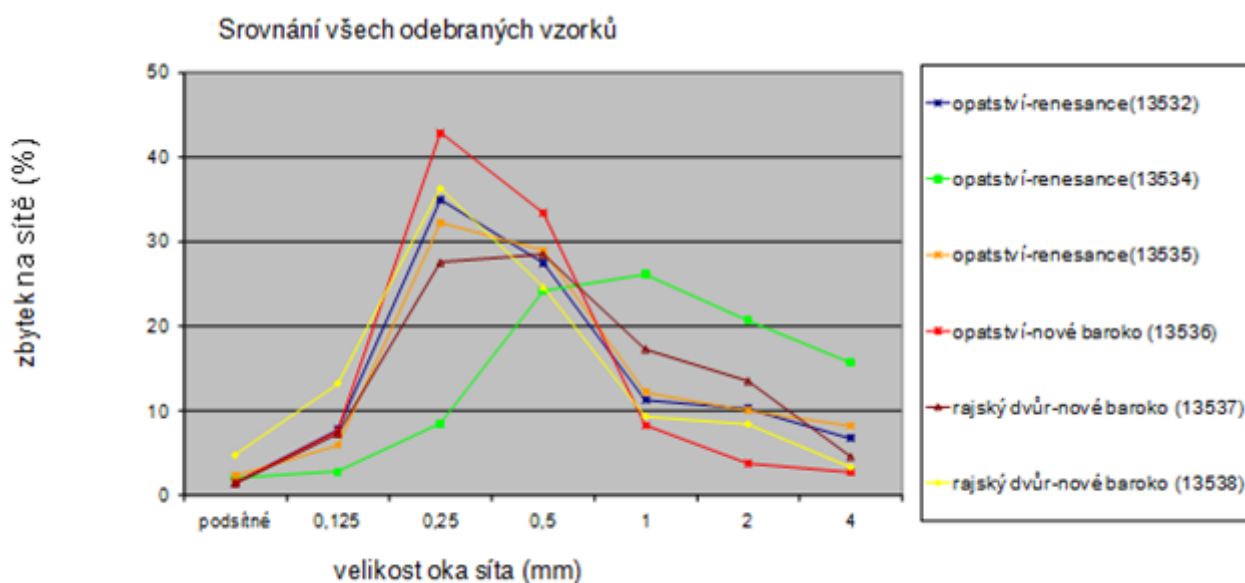
| <i>Velikost síta (mm)</i> | <i>Zbytek na sítu (g)</i> | <i>Zbytek na sítu (%)</i> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 4 | 2,6 | 4,5 |
| 2 | 7,8 | 13,5 |
| 1 | 10,0 | 17,3 |
| 0,5 | 16,5 | 28,5 |
| 0,25 | 15,9 | 27,5 |
| 0,125 | 4,2 | 7,3 |
| podsítné | 0,8 | 1,4 |
| celkem | 57,8 | 100,0 |

Tab. 12 Zrnitost (vzorek 13 538).

| Velikost síta (mm) | Zbytek na sítu (g) | Zbytek na sítu (%) |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 4 | 1,6 | 3,3 |
| 2 | 4,0 | 8,4 |
| 1 | 4,4 | 9,3 |
| 0,5 | 11,7 | 24,7 |
| 0,25 | 17,3 | 36,4 |
| 0,125 | 6,3 | 13,2 |
| podsítné | 2,2 | 4,7 |
| celkem | 47,5 | 100,0 |

Výsledky granulometrických analýz představují a nejlépe vystihují granulometrické křivky (graf 1, 2, 3, 4).

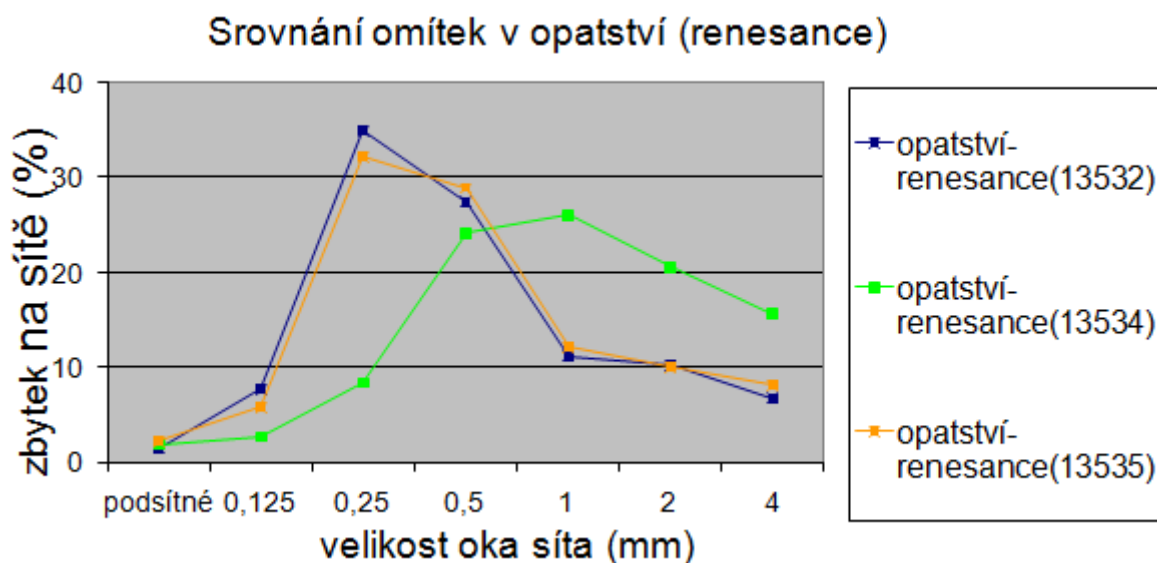
Graf 1 Výsledky granulometrické analýzy plniva omítek kláštera premonstrátů v Želivě.



5. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZY A JEJÍ INTERPRETACE

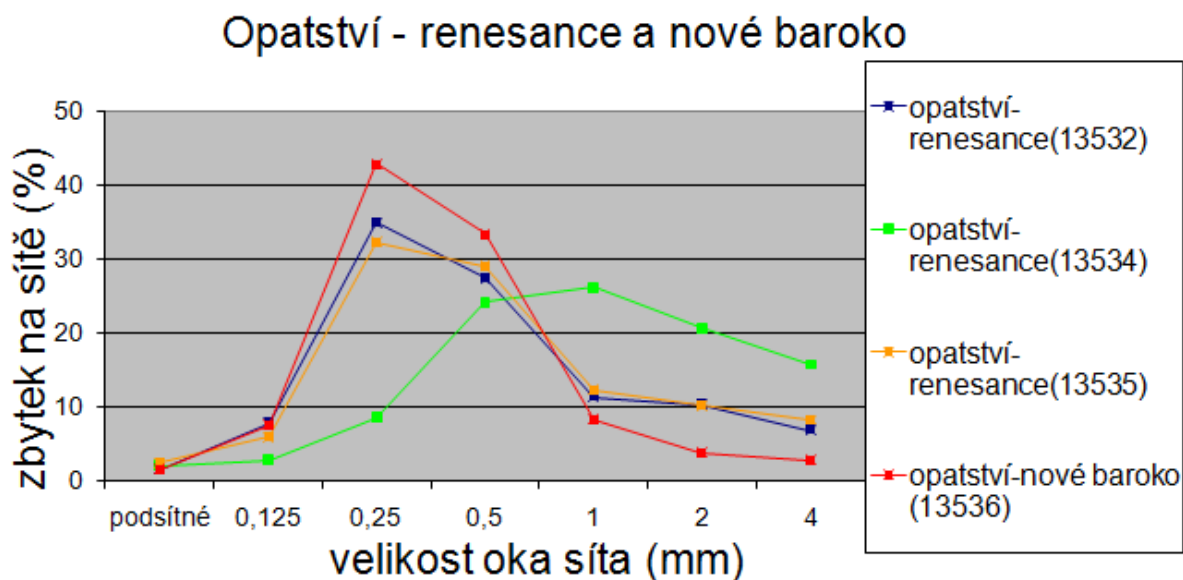
V grafu 2 vidíme významnou podobnost omítek 13 532, 13 535. Omítka 13 534 se svou zrnitostí od ostatních dvou výrazně liší. Lišila se i větším podílem vápenných shluků a rozdílnou barevností. Omítky 13 532, 13 535 se barevně neodlišovaly, ale 13 532 na rozdíl od 13 534, 13 535 obsahovala nátěr s bílou vrstvou. Zajímavým objevem bylo nalezení kousků dřeva v omítce 13 534. Spodní strana omítky 13 534, byla na rozdíl od ostatních dvou tvrdá a nedrolila se. Nerozpustný zbytek omítky 13 532 a 13 535 se lišil pouze částečně. Můžeme se tedy domnívat, že omítka 13 534 nevznikala společně s omítkami 13 532, 13 535.

Graf 2 Srovnání výsledků granulometrické analýzy vzorků odebraných na stěně opatství (renesance).



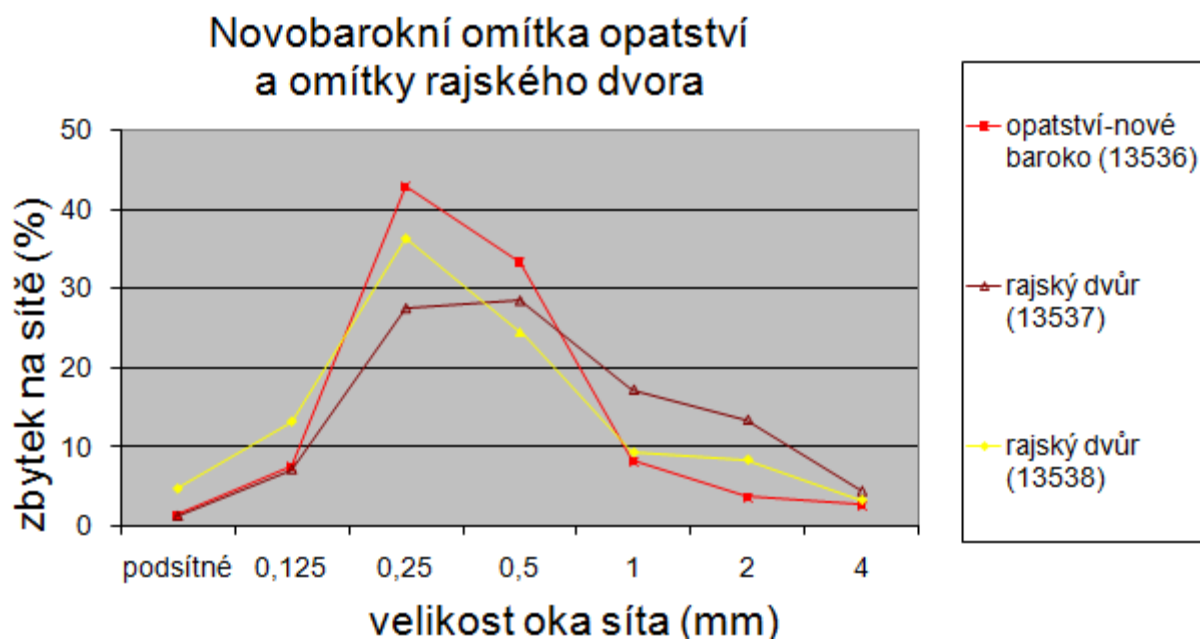
Již při zpracování vzorku bylo makroskopicky patrné, že omítka 13 536 (opatství – novobaroční část) bude obsahovat vyšší zastoupení jemných zrn, maximální viditelné zrno na vzorku bylo pouze 3 mm, přičemž vzorky 13 532, 13 534, 13 535 byly na pohled z hlediska zrnitosti hrubší. Graf 3 zobrazuje (a potvrzuje) výrazně větší zastoupení frakce 0,25 a 0,5 mm u omítky 13 532. Omítka 13 536 měla také tvrdou spodní stranu a nedrolila se.

Graf 3 Srovnání výsledků granulometrické analýzy vzorků odebraných na stěně opatství (renesanční a novobarokní část).



Omítky v rajském dvoře obsahovaly nátěr, jejich tloušťka byla 18 a 20 cm. Z grafu 4 je patrné nízké zastoupení frakce 0,25 mm a větší podíl na sítích o velikosti ok 1 a 2 mm u omítky 13 537. Všechny omítky odebrané z novobarokních částí byly na omak tvrdé, obsahovaly nátěr. Z hlediska zrnitosti se tyto omítky výrazně odlišují. Je také nutné připomenout, že odběr vzorků 13 537 a 13 538 probíhal nad terénem a vzhledem k různým přestavbám není jisté, že právě v těchto místech se jedná o omítky novobarokní nebo spíše o vysprávky. Na druhou stranu je zajímavý přesný průnik omítky 13 536 a 13 537 na frakci 0,125 mm a průnik omítky 13 537 a 13 538 na frakci 1 mm. Markantní není ani rozdíl nerozpustných zbytků vzorků 13 536 a 13 537.

Graf 4 Srovnání výsledků granulometrické analýzy vzorků odebraných v novobarokních částech (rajský dvůr a opatství).



6. NÁVRH SANACE OMÍTEK ZKOUMANÝCH OBJEKTŮ

Omítky kláštera premonstrátů v Želivě se zřejmě měnily a upravovaly při každé vývojové proměně stavby. Z tohoto důvodu je důležitá také důkladná analýza zaměřená na:

- vyhledávání podkladů v archivech se zaměřením na původní stav a následné zásahy stavebního charakteru,
- zjištění změn a přestaveb v souvislosti se změnami využití objektu (specifikum pro klášter premonstrátů v Želivě).

Původní omítku obvykle nalézáme (pokud ovšem nějaká existuje) až po podrobném průzkumu provedením více odběrů. Z hlediska sanace historických omítek se rozlišují 2 zásadní přístupy – konzervace a obnova. Vzhledem k rozsáhlému narušení (zejména vlhkostí) omítek kláštera premonstrátů v Želivě bych se osobně přikláněl k přístupu: částečná obnova. U omítek renesančních a starších je však nutná pouze konzervace nebo lokální doplnění.

Rozsah obnovy je však důležité pečlivě promyslet a čerpat z celé škály informací, které jsou pro takové rozhodnutí potřebné. Pokud zdivo vykazuje parametry, klasifikované podle ČSN 73 0610 jako vlhkost vysoká (nad 7,5 % hmot.), je nutno zvažovat provedení sanačních zásahů před aplikací omítky. Rovněž, obsahuje-li podklad vodorozpustné soli (dle výše uvedené normy) v množství odpovídajícím stupni vysoký (tj. sírany nad 2,0%hm., chloridy nad 0,20 % hm., a dusičnany nad 0,25 % hm.), je také nutné řešit další opatření. Ovšem pro zachování autenticity památek renesančních a starších je nezbytné volit restaurační zásahy a metodu sanace vlhkosti, která otlučení omítek nezpůsobuje. Rozsah obnovy bývá častým předmětem sporu mezi památkářem a investorem. Celoplošné odstranění omítky, kde proběhly odběry, je přehnané řešení. Rozsáhlejší výměnu omítek bych doporučoval (mimo renesanční a starší omítky) na místech s dlouhodobou poruchou zatékání nebo intenzivního zasolení. Dohodnutý rozsah oprav je nutné zaznamenat do stavební dokumentace a pořídit fotografickou či kresebnou dokumentaci odstraňovaných částí. Při provádění vysprávek bych se samozřejmě vyvaroval použití jiného druhu pojiva a typu plniva než má okolní materiál.

Celkový návrh sanace omítek severní stěny opatství by tedy obsahoval následující opatření:

- stanovení koncepce odvlhčení stavby (průzkumy vlhkosti, salinity)
- stanovení rozsahu nezbytných oprav omítek,
- lokální doplnění omítek vysprávkami (pokud možno původní pojivo, plnivo, poměr mísení), zachování původní geometrie povrchu.

Současně lze využít postupů:

- transfer fragmentů omítek,
- kotvení omítek k podkladové vrstvě,
- tmelení omítek.

Uvedený průzkum a rozbor zrnitosti pro návrh sanace omítky stejného složení je třeba doplnit dalšími průzkumy a analýzami, zejména:

- odběr vzorků z více míst vzhledem k rozsáhlosti objektů,
- zjištění druhu pojiva,
- průzkum zdrojů surovin v okolí.

7. ZÁVĚR

Odběr tří vzorků z renesanční části severní stěny opatství umožnil solidní srovnání. Zajímavá byla značná odlišnost zrnitosti vzorku 13 534 a také podílu pojiva v plnivu. Můžeme tedy odvodit celou řadu hypotéz, jednou z nich je možná vysprávka díky narušení například vandalismem. Jiným důvodem může být třeba vysprávka po lešení, jelikož v omítce se našly úlomky dřeva. Je ale téměř jisté, že obě omítky nevznikaly současně. Již dosavadní výsledky analýz vzorků odebraných na severní stěně opatství mohou usnadnit práci při lokální obměně omítek. Pro rozsáhlost celé stěny je vhodný však rozbor z více míst.

Dle srovnání křivek zrnitosti se omítky odebrané v rajském dvoře mohly výrazně lišit. Nicméně omítky jsou značně nehomogenní materiál a bylo by dobré využít odběrů z více míst pro optimální srovnání výsledných křivek.

Želivský klášter byl několikrát rozsáhle obnovován a je zřejmé, že docházelo k obnově omítek v různých historických epochách. Používaným pojivem bylo zřejmě vápno, což dokumentují shluky vyskytující se v omítkách zkoumaných objektů. Při celkové sanaci omítek klášteru premonstrátů v Želivě je třeba pracovat s celými soubory dat. Unáhlené otlučení a renovace omítek je nepřipustné. Z těchto důvodů bych se chtěl věnovat dalším analýzám na odebraných vzorcích, případně odebrat další. Zpracované analýzy o použitém plnivu doplnit petrografickým rozbořem, provést zejména analýzu pojiva použitím kombinací vhodných metod a také obsahu a identifikaci solí v omítce.

8. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1] Hošek, Jiří a Ludvík Losos. *Historické omítky: průzkumy, sanace, typologie*. Praha: Grada, 2007, 167 s. Stavitel. ISBN 978-802-4713-953.
- [2] Jiříčková, Milena a Martin Keppert. *Chemie: chemie stavebních materiálů*. Praha: České vysoké učení technické, 2009, 197 s. ISBN 978-800-1042-373.
- [3] Kotlík, Petr a kolektiv autorů. *Vápno*. Praha: STOP, 2001, 76 s. ISBN 80-902-6688-6.
- [4] Kotlík, Petr. *Stavební materiály historických objektů - materiály, koroze, sanace: chemické a technologické vlastnosti*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999, 112 s. ISBN 80-708-0347-9.
- [5] Kotlík, Petr. *Románský cement v památkové péči*. Praha: STOP, 2011, 57 s. ISSN 1212-4168.
- [6] Losos, Ludvík a Miloš Gavenda. *Štukatéřství*. Praha: Grada, 2010, 181 s. Řemesla, tradice, technika. ISBN 978-802-4721-750.
- [7] Makýš, Oto a Miloš Gavenda. *Technologie renovace budov*. Bratislava: Jaga, 2004, 263 s. Řemesla, tradice, technika. ISBN 80-807-6006-3.
- [8] Michoinová, Dagmar. *Příprava vápenných malt v péči o stavební památky*. Praha: Informační centrum České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 2006, 76 s. Stavitel. ISBN 80-867-6981-X
- [9] Rovnaníková, Pavla. *Omítky: chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002, 89 s. ISBN 80-866-5700-0.
- [10] Rovnaníková, Pavla a Martin Keppert. *Stavební chemie: Modul 2*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2004, 47 s. ISBN 80-720-4409-5.
- [11] Škabrada, Jiří. *Konstrukce historických staveb*. Praha: Argo, 2003, 395 s. Stavitel. ISBN 80-7203-548-7.
- [12] Žabičková, Ivana a Šmardová, Kateřina - Karasová, Alena. *Stavět z hlíny jak a proč*. Brno, SHS o.s., 2009, 42 s. ISBN: 978-80-254-3906-7.
- [13] http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html
- [14] <http://zeliv.eu/turisticky-portal/historie-klastera/>
- [15] <http://www.zeliv-okoli.ic.cz/>

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| <i>OBR. 1 DETAIL POVRCHU SGRAFITOVÉ BOSÁŽE RENOVOVANÉ OMÍTKY TRČKOVA HRADU KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ.</i> | 11 |
| <i>OBR. 2 DETAIL PEKOVÁNÍ NA FRAGMENTU HLAZENÉ OMÍTKY OPATSTVÍ KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ.</i> | 12 |
| <i>OBR. 3 RŮZNÉ PODOBY VÁPNA VE VÁPENNÉM CYKLU. LEGENDA: 1 – VÁPENCOVÝ LOM; 2 – PÁLENÍ VÁPNA; 3 – NEHAŠENÉ VÁPNO; 4 – HAŠENÍ; 5 – VÁPENNÁ KAŠE VE VÁPENICI; 6 – PYTLOVANÝ VÁPENNÝ HYDRÁT; 7 – VÁPENNÉ MALTY; 8 – VÁPNO V MALTÁCH, OMÍTKÁCH A NÁTĚRECH [8].</i> | 18 |
| <i>OBR. 4 ŠACHTOVÁ VÁPENKA STARÉHO TYPU [6].</i> | 19 |
| <i>OBR. 5 KLASICKÁ VÁPENNÁ HASNICE [6].</i> | 20 |
| <i>OBR. 6 ULOŽENÍ VYHAŠENÉHO VÁPNA V JÁMĚ (1 - ZÁHOZ, 2 – UTĚSNĚNÍ, 3 – PRKENNÉ VÍKO) [6].</i> | 20 |
| <i>OBR. 7 CHYBĚJÍCÍ OKAPOVÝ SVOD ZPŮSOBUJÍCÍ BIOLOGICKÉ NAPADENÍ ZDIVA A OMÍTKY KOSTELA SV. PETRA A PAVLA KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ.</i> | 28 |
| <i>OBR. 8 VIDITELNÉ ROZSÁHLÉ ZAVLHČENÍ BUDOVY OPATSTVÍ KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ.</i> | 29 |
| <i>OBR. 9 MAPA OKOLÍ AREÁLU KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ.</i> | 34 |
| <i>OBR. 10 VÝSKYT VÁPENNÝCH SHLUKŮ NA SEVERNÍ STĚNĚ OPATSTVÍ ŽELIVSKÉHO KLÁŠTERU.</i> | 36 |
| <i>OBR. 11 POŠKOZENÍ OMÍTEK A NÁTĚRU VLIVEM VYSTŘELOVÁNÍ NEVYHAŠENÉHO VÁPNA.</i> | 36 |
| <i>OBR. 12 KONCEPCE ODBĚRŮ VZORKŮ OMÍTEK</i> | 37 |
| <i>OBR. 13 ŠETRNÉ ODDĚLENÍ KAMENIVA OD POJIVA V MISCE.</i> | 38 |
| <i>OBR. 14 ODSITOVÁNÍ FRAKCI 0,125 MM A NAD 0,125 MM.</i> | 38 |
| <i>OBR. 15 ODDĚLENÍ NEROZPUSTNÉHO ZBYTKU V KÁDINCE POMOCÍ 10 % HCL.</i> | 39 |
| <i>OBR. 16 ROZBOR ZRNITOSTI PLNIVA.</i> | 41 |

10. SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| <i>TAB. 1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ STAROMĚSTSKÉHO VÁPNA [1].</i> | 21 |
| <i>TAB. 2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ VYBRANÝCH VÁPENCŮ, CEMENTAČNÍ INDEX [5].</i> | 23 |
| <i>TAB. 3 CHEMICKÉ SLOŽENÍ PORTLANDSKÉHO CEMENTU [9].</i> | 23 |
| <i>TAB. 4 ÚČINEK ORGANICKÝCH PŘÍŠAD VE VÁPENNÝCH MALTÁCH [9].</i> | 27 |
| <i>TAB. 5 STANOVENÍ NEROZPUSTNÉHO ZBYTKU</i> | 39 |
| <i>TAB. 6 STANOVENÍ NEROZPUSTNÉHO ZBYTKU V JEDNOTLIVÝCH VZORCÍCH.</i> | 40 |
| <i>TAB. 7 ZRNITOST (VZOREK 13 532).</i> | 41 |
| <i>TAB. 8 ZRNITOST (VZOREK 13 534).</i> | 42 |
| <i>TAB. 9 ZRNITOST (VZOREK 13 535).</i> | 42 |
| <i>TAB. 10 ZRNITOST (VZOREK 13 536).</i> | 43 |
| <i>TAB. 11 ZRNITOST (VZOREK 13 537).</i> | 43 |
| <i>TAB. 12 ZRNITOST (VZOREK 13 538).</i> | 44 |

11. SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|----|
| <i>GRAF 1 VÝSLEDKY GRANULOMETRICKÉ ANALÝZY PLNIVA OMÍTEK KLÁŠTERU PREMONSTRÁTŮ V ŽELIVĚ.</i> | 44 |
| <i>GRAF 2 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ GRANULOMETRICKÉ ANALÝZY VZORKŮ ODEBRANÝCH NA STĚNĚ OPATSTVÍ (RENESSANCE).</i> | 45 |
| <i>GRAF 3 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ GRANULOMETRICKÉ ANALÝZY VZORKŮ ODEBRANÝCH NA STĚNĚ OPATSTVÍ (RENESSANČNÍ A NOVOBAROKNÍ ČÁST).</i> | 46 |
| <i>GRAF 4 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ GRANULOMETRICKÉ ANALÝZY VZORKŮ ODEBRANÝCH V NOVOBAROKNÍCH ČÁSTECH (RAJSKÝ DVŮR A OPATSTVÍ).</i> | 47 |

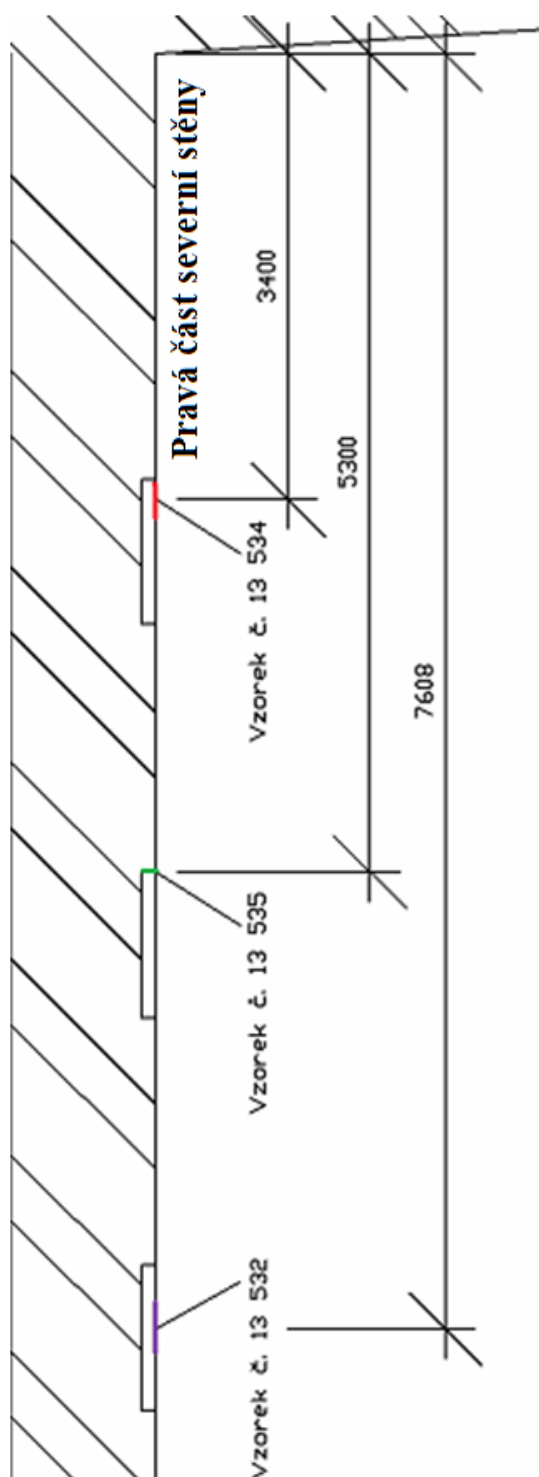
12. SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|---|----|
| PŘÍLOHA 1 <i>TABULKA ODBĚRŮ VZORKŮ</i> | 56 |
| PŘÍLOHA 2 <i>DETAIL 1 (MÍSTO ODBĚRU VZORKŮ)</i> | 57 |
| PŘÍLOHA 3 <i>FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 532)</i> | 58 |
| PŘÍLOHA 4 <i>FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 534)</i> | 58 |
| PŘÍLOHA 5 <i>FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 535)</i> | 59 |
| PŘÍLOHA 6 <i>DETAIL 2 (MÍSTO ODBĚRU VZORKŮ)</i> | 60 |
| PŘÍLOHA 7 <i>FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 536)</i> | 61 |
| PŘÍLOHA 8 <i>DETAIL 2 (MÍSTO ODBĚRU VZORKŮ)</i> | 62 |
| PŘÍLOHA 9 <i>FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 537)</i> | 63 |
| PŘÍLOHA 10 <i>FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 538)</i> | 63 |
| PŘÍLOHA 11 <i>MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU - ČÁST 1</i> | 64 |
| PŘÍLOHA 12 <i>MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU - ČÁST 2</i> | 64 |
| PŘÍLOHA 13 <i>MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU - ČÁST 3</i> | 64 |

13. PŘÍLOHY

PŘÍLOHA 1 *TABULKA ODBĚRŮ VZORKŮ*

| | | | | | | |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Vzorek č.</i> | <i>13 532</i> | <i>13 534</i> | <i>13 535</i> | <i>13 536</i> | <i>13 537</i> | <i>13 538</i> |
| Datum odběru | 08-03-12 | 08-03-12 | 08-03-12 | 08-03-12 | 08-03-12 | 08-03-12 |
| Odběr provedl | Rezek P. | Rezek P. | Rezek P. | Rezek P. | Rezek P. | Rezek P. |
| Lokalita | Želiv | Želiv | Želiv | Želiv | Želiv | Želiv |
| Budova | Opatství | Opatství | Opatství | Opatství | Rajský dvůr | Rajský dvůr |
| Místo odběru | detail 1 | detail 1 | detail 1 | detail 2 | detail 3 | detail 3 |
| Výška odběru (m) | 1,1 | 1,2 | 1,6 | 1,2 | terén | terén |
| Forma | 2 kusy+drť | 2 kusy | 5 kusů+drť | 1 kus+drť | 1 kus | 2 kusy |
| Materiál | omítka | omítka | Omítka | omítka | omítka | omítka |
| Cíl odběru | složení, granulometrie | složení, granulometrie | složení, granulometrie | složení, granulometrie | složení, granulometrie | složení, granulometrie |

PŘÍLOHA 2 *DETAIL 1 (MÍSTO ODBĚRU VZORKŮ)*

PŘÍLOHA 3 *FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 532)*



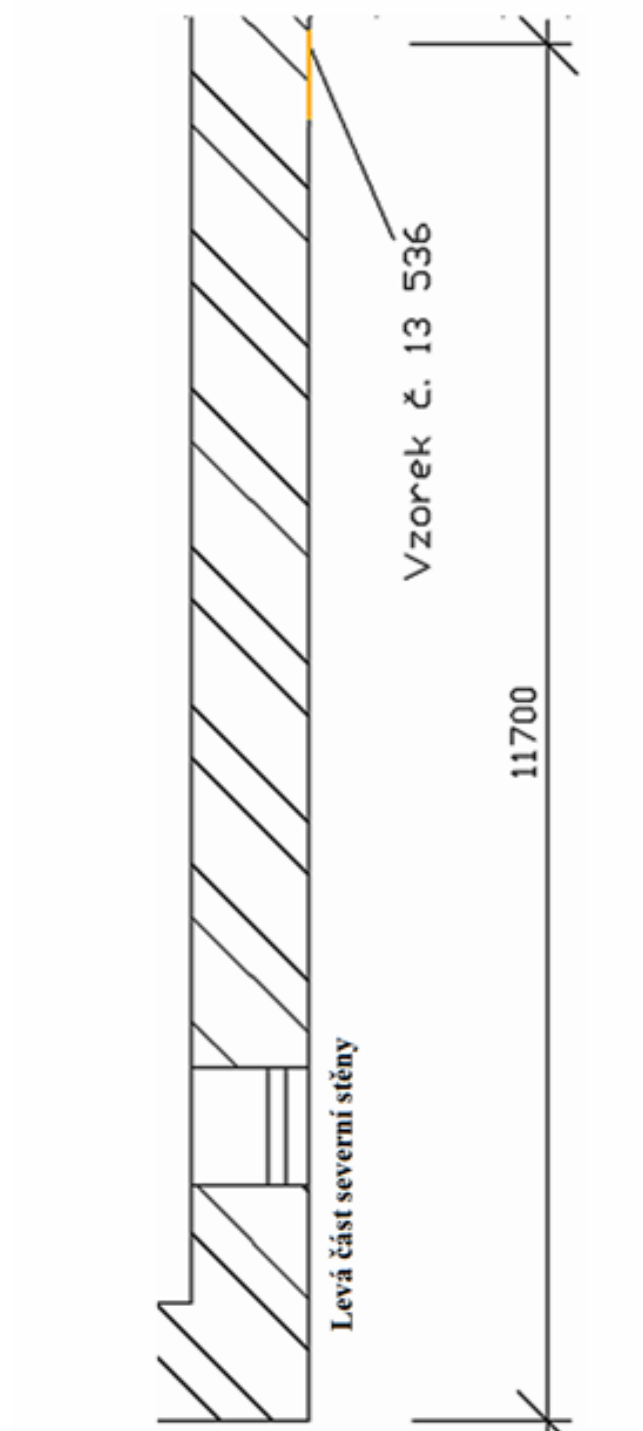
PŘÍLOHA 4 *FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 534)*



PŘÍLOHA 5 *FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 535)*

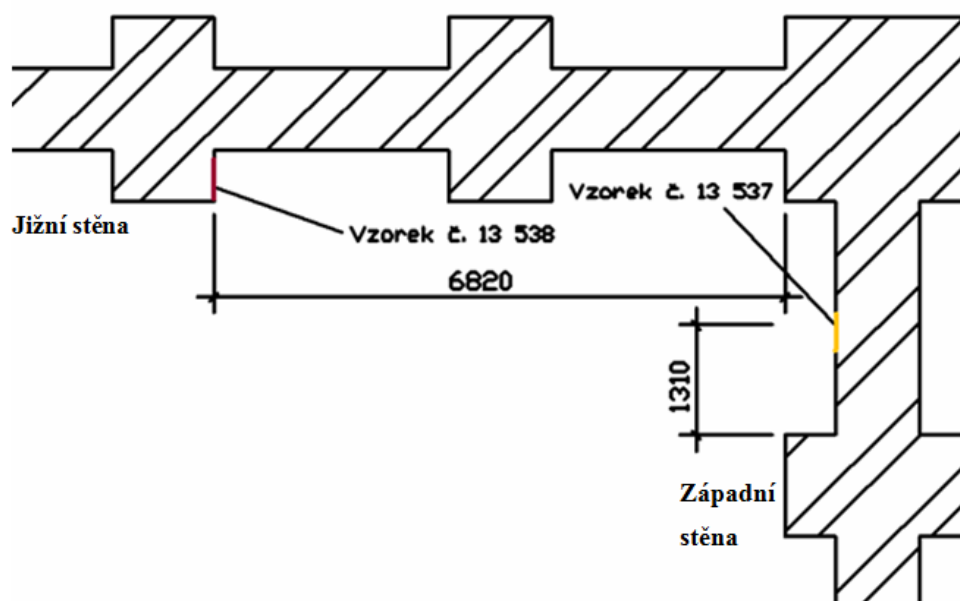


PŘÍLOHA 6 *DETAIL 2 (MÍSTO ODBĚRU VZORKŮ)*



PŘÍLOHA 7 *FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 536)*



PŘÍLOHA 8 *DETAIL 2 (MÍSTO ODBĚRU VZORKŮ)*

PŘÍLOHA 9 *FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 537)*



PŘÍLOHA 10 *FOTODOKUMENTACE MÍSTA ODBĚRU (13 538)*



PŘÍLOHA 11 MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU - ČÁST 1

| Označení | Tloušťka (mm) | Vrstevnatost | Max. zrno (mm) | Kusy zdiva | Anomálie |
|----------|---------------|--------------|----------------|------------|---------------------------|
| 13 532 | 11 | ANO - nátěr | 7 | NE | NE |
| 13 534 | 18 | NE | 13 | NE | kusy dřeva |
| 13 535 | 15 | NE | 10 | CIHLA | NE |
| 13 536 | 15 | ANO - nátěr | 3 | CIHLA | část-biologická degradace |
| 13 537 | 18 | ANO - nátěr | 8 | NE | NE |
| 13 538 | 20 | ANO - nátěr | 3 | CIHLA | NE |

PŘÍLOHA 12 MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU - ČÁST 2

| Označení | Povrch, nátěr (barva, tloušťka, zrnitost) | vrstva pod nátěrem (barva, tloušťka) |
|----------|--|--------------------------------------|
| 13 532 | bílo - ŽLUTÝ nátěr tl. 0,Xmm, jemnozrnný | bílá, tl. 1,4 mm |
| 13 534 | bílo - ŠEDÝ, bez nátěru, hrubozrnný | NE |
| 13 535 | bílo - ŽLUTÝ, bez nátěru, jemnozrnný | NE |
| 13 536 | bílo - ORANŽOVÝ nátěr, tl. 0,Xmm, jemnozrnný | NE |
| 13 537 | bílo - ORANŽOVÝ nátěr, tl. 0,Xmm, jemnozrnný | NE |
| 13 538 | bílo - ČERVENÝ nátěr, tl. 0,Xmm, jemnozrnný | bílá, tl. 2 mm |

PŘÍLOHA 13 MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU - ČÁST 3

| Označení | Tělo (barva, zrnitost) | Spodní strana (barva, zrnitost) |
|----------|---|---------------------------------------|
| 13 532 | bílo - ŽLUTÁ, středně-zrnný, nevytříděné kamenivo | bílo - ŽLUTÁ, středně-zrnný, otírá se |
| 13 534 | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, nevytříděné kamenivo | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, otírá se |
| 13 535 | bílo - ŽLUTÁ, středně-zrnný, nevytříděné kamenivo | bílo - ŽLUTÁ, středně-zrnný, tvrdá |
| 13 536 | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, nevytříděné kamenivo | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, tvrdá |
| 13 537 | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, nevytříděné kamenivo | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, tvrdá |
| 13 538 | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, nevytříděné kamenivo | bílo - ŠEDÁ, středně-zrnný, tvrdá |